



# **UNIVERSITAT JAUME I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

## ***Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad***

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**AUTOR/A**

**Christian Abarca Aguilar**

**DIRECTOR/A**

**Lluís Monjo Mur**

**Castelló de la Plana, septiembre de 2019**



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Timoteo Briet por su apoyo y asesoramiento en la elaboración de este trabajo.

A mi tutor Lluís Monjo por sus consejos e interés para que este proyecto se vea realizado.

A mis padres Jaime y Charo y a mis hermanas Lorena e Isabel por su eterno apoyo.

Por último, a mis amigos, los cuáles siempre están ahí, especialmente a Daniel Martínez, amigo, compañero de clase y apoyo incondicional a lo largo de esta carrera.



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
MEMORIA.....	IX
PRESUPUESTOS .....	LXXV
PLANOS .....	LXXIX
ANEXOS.....	LXXXI



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tilbury, diseñado por Charles Jeantaud [3] .....	17
Figura 2. Maqueta del vehículo La Jamais Contente [4] .....	17
Figura 3. Clasificación coches eléctricos. Fuente: <a href="http://www.aficionadosalamecánica.net">www.aficionadosalamecánica.net</a> .....	19
Figura 4. Despiece de un motor eléctrico (izq) y de un motor térmico (dcha) Fuente: <a href="http://www.aficionadosalamecánica.net">www.aficionadosalamecánica.net</a> .....	20
Figura 5. Clasificación motores eléctricos. ....	20
Figura 6. Rotor en jaula de ardilla. Fuente: Sapiensman .....	22
Figura 7. Rotor devanado o con anillos Fuente: I.E.S. Andrés De Vandelvira .....	22
Figura 8. Circuito equivalente motor de inducción .....	23
Figura 9. Característica Par-velocidad de los motores asíncronos .....	23
Figura 10. Imanes montados en la superficie del rotor .....	24
Figura 11. Imanes montados en el interior del rotor .....	25
Figura 12. Esquema básico del motor de corriente continua .....	25
Figura 13. Representación de la regla de la mano izquierda de Fleming. Fuente: <a href="http://www.studyelectrical.com">www.studyelectrical.com</a> .....	26
Figura 14. Control de potencia del motor de corriente continua sin escobillas .....	27
Figura 15. Esquema de un inversor trifásico. Fuente <a href="http://www.aficionadosalamecánica.com">www.aficionadosalamecánica.com</a> .....	28
Figura 16. Alimentación baterías [7] .....	29
Figura 17. Modos de recarga vehículo eléctrico. Fuente: Powering Car. ....	32
Figura 18. Esquema eléctrico básico de un vehículo eléctrico .....	33
Figura 19. Esquema de la descarga de una celda de plomo-ácido .....	34
Figura 20. Esquema de la descarga de una celda de plomo-ácido. ....	35
Figura 21. Ejemplo de configuración tipo distribuida de los BMS .....	38
Figura 22. Ejemplo de configuración centralizada de los BMS .....	38
Figura 23. Ejemplo de configuración modular de los BMS .....	39
Figura 24. Desplazamiento de la fuerza resultante terreno-rueda .....	40
Figura 25. Esquema básico tren de potencia de tracción .....	45
Figura 26. Gráfica Potencia-Velocidad .....	47
Figura 27. Conexión en paralelo de baterías .....	54
Figura 28. Conexión en serie de baterías .....	55
Figura 29. Configuración de las baterías del Mitsubishi i-MiEV .....	55
Figura 30. BMS123 Smart Pack 4 (arriba). BMS123 Smart Celda individual (abajo) .....	58
Figura 31. Esquema del sistema de tracción con único motor. Fuente: Escuela de Organización Industrial .....	63
Figura 32. Esquema del sistema de tracción motor múltiple. Fuente: Tesla motors .....	63

Figura 33. Centro de gravedad del vehículo.....	64
Figura 34. Espacios destinados a la colocación de las baterías .....	65
Figura 35. Espacio destinado a la colocación de los motores .....	65
Figura 36. Señal de peligro de tensión .....	67
Figura 37. Fluctuación de los precios de la gasolina en 2018. Fuente El País .....	69
Figura 38. Origen de la generación de energía eléctrica en España. Fuente: Diario Renovables .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Comparativa de los tipos de baterías .....	37
<b>Tabla 2.</b> Distancias medias recorridas diariamente .....	43
<b>Tabla 3.</b> Velocidades máximas según el tipo de vía.....	43
<b>Tabla 4.</b> Parámetros para el cálculo de la resistencia por rodadura.....	44
<b>Tabla 5.</b> Parámetros para el cálculo de la resistencia aerodinámica.....	44
<b>Tabla 6.</b> Tabla de velocidades expresadas en distintas unidades.....	45
<b>Tabla 7.</b> Parámetros del motor.....	46
<b>Tabla 8.</b> Potencias requeridas en función de la velocidad .....	47
<b>Tabla 9.</b> Criterios de elección del motor.....	48
<b>Tabla 10.</b> Puntuaciones tipo de motor. ....	48
<b>Tabla 11.</b> Comprobación del cumplimiento de la potencia .....	50
<b>Tabla 12.</b> Comprobación del cumplimiento del par máximo .....	50
<b>Tabla 13.</b> Cálculo de los tiempos recorridos en cada tipo de vía .....	52
<b>Tabla 14.</b> Potencias requeridas según gráfica potencia-velocidad del fabricante.....	52
<b>Tabla 15.</b> Parámetros baterías.....	53
<b>Tabla 16.</b> Comprobación del cumplimiento del requisito de capacidad.....	56
<b>Tabla 17.</b> Comprobación del cumplimiento del requisito de tensión .....	56
<b>Tabla 18.</b> Tabla de precios de las baterías comerciales seleccionadas .....	57
<b>Tabla 19.</b> Tabla de pesos de las baterías comerciales seleccionadas.....	57
<b>Tabla 20.</b> Denominación de cada tramo .....	59
<b>Tabla 21.</b> Consumos de los principales elementos .....	59
<b>Tabla 22.</b> Cálculo de las intensidades máximas para el criterio de temperatura .....	60
<b>Tabla 23.</b> Secciones obtenidas para cada tramo .....	61
<b>Tabla 24.</b> Cálculo de las caídas de tensión .....	61
<b>Tabla 25.</b> Definición de los tramos.....	62
<b>Tabla 26.</b> Categorización de vehículos.....	66



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

## **MEMORIA**



## ÍNDICE

1. Introducción .....	15
2. Objeto del proyecto .....	16
3. Alcance del proyecto .....	16
4. El vehículo eléctrico .....	16
4.1 Historia del vehículo eléctrico .....	16
4.2 Clasificación del vehículo eléctrico .....	18
5. Componentes principales del sistema de tracción del coche eléctrico .....	19
5.1 Motores eléctricos .....	19
5.1.1 Motor de corriente alterna asíncrono .....	21
5.1.2 Motor de corriente alterna síncrono de imanes permanentes .....	24
5.1.3 Motor de corriente continua con escobillas .....	25
5.1.4 Motor de corriente continua sin escobillas. Brushless motor .....	26
5.2. Inversor .....	27
5.3 Cargador .....	28
5.3.1 Tipos de conectores .....	29
5.3.2 Tipos de recarga .....	30
5.3.3 Modos de recarga .....	30
5.4 Conversor .....	33
5.5 Baterías .....	33
5.5.1 Baterías plomo-ácido .....	34
5.5.2 Baterías de níquel-cadmio .....	35
5.5.3 Baterías de níquel-hierro .....	35
5.5.4 Baterías de níquel-hidruro metálico .....	35
5.5.5 Baterías de ion-litio .....	36
5.5.6 Baterías de aluminio- aire .....	36
5.5.7 Baterías de zinc-aire .....	36
5.5.8 Comparativa tipos de baterías .....	36
5.5.9 Battery Management System. BMS .....	37
6. Selección del motor .....	39
6.1 Fuerzas resistivas .....	39

# Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

6.1.1 Fuerza de rodadura .....	39
6.1.2 Fuerza aerodinámica.....	41
6.1.3 Fuerza gravitatoria.....	42
6.2 Fuerza de tracción .....	42
7. Dimensionado del motor .....	42
7.1 Dimensionado del motor .....	42
7.1.1 Cálculo de las fuerzas resistivas .....	43
7.2 Elección del motor.....	47
7.3 Elección del controlador del motor .....	51
8. Dimensionado y elección de las baterías.....	51
8.1 Dimensionado de las baterías .....	51
8.1.1 Cálculo de la energía .....	51
8.1.2 Cálculo de la capacidad.....	53
8.2 Elección de las baterías.....	53
8.3 Elección del BMS.....	57
9. Dimensionado de cables .....	58
10. Configuración del sistema de tracción .....	62
11. Homologación .....	66
12. Impacto económico-ambiental .....	68
12.1 Impacto Económico.....	68
12.2 Impacto ambiental .....	69
13. Conclusiones .....	70
14. Bibliografía.....	71

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad



## 1. Introducción

Hoy en día, los coches convencionales, los de gasolina y diésel, están en el punto de mira, ya que forman parte del conjunto de los principales agentes contaminantes del medio ambiente.

El uso de combustibles fósiles tales como el gas natural, carbón o el petróleo, siendo este último el más empleado como combustible en los coches de combustión interna, se está viendo afectado por diversos factores:

- En primer lugar, se sabe que los combustibles fósiles son recursos no renovables y por tanto, son de naturaleza finita.
- El petróleo, procede de materias primas localizadas en puntos muy concretos del planeta lo que produce un gran desequilibrio económico entre los países que disponen de estos recursos y los que no. Este hecho explica la especulación que se puede apreciar hoy en día respecto a los precios del petróleo.
- En materia legal, cada vez más países están imponiendo leyes de carácter restrictivo respecto a su uso. La unión europea, por ejemplo, aprobó un borrador de ley que pretende que la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los coches vendidos se reduzcan un 40% entre 2020 y 2030. Además ha propuesto un plan de descarbonización, un modelo energético para 2050, en el que las emisiones de gases de efecto invernadero se deben reducir al menos un 80%. [1]

Por ello, numerosas marcas automovilísticas invierten mayor cantidad de su capital en proyectos de Investigación y Desarrollo e innovación, I+D+i, con el objetivo de encontrar una alternativa a los coches convencionales.

Hasta el momento, la electricidad resulta la alternativa más viable para sustituir a los combustibles fósiles por dos motivos principales. El primer motivo es económico, ya que resulta más barata que los combustibles fósiles y el otro motivo es su carácter ecológico ya que su uso tiene emisiones nulas y, por tanto, no es contaminante (no así su generación, en algunos casos).

Los coches eléctricos, además de solventar el problema de la contaminación, presentan otra ventaja importante. El mantenimiento de este tipo de coches resulta más económico ya que están compuestos de una mecánica más simple al contar con una cantidad muy reducida de piezas y dispositivos mecánicos que los coches convencionales.

A la vista de los últimos datos correspondientes a la venta de vehículos eléctricos, y su espectacular crecimiento, los coches eléctricos están ganando terreno a los coches de combustión convencional. Su diseño es similar a estos últimos. En el mercado se pueden encontrar de tipo monovolumen, sedán, familiar e incluso furgonetas. Sin embargo, los coches de características deportivas o bien no están

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

desarrollados, o bien, se han diseñado exclusivamente para su utilización en circuitos cerrados y carreras de competición, como la Formula E.

En definitiva, el reto actual al que se enfrenta el sector es acabar de consolidar e implementar la tecnología de los coches eléctricos y diseñar distintos modelos que cumplan las necesidades o gustos de todo tipo de clientes.

### 2. Objeto del proyecto

El objeto del proyecto es la motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por la ciudad.

### 3. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto será la elección de los motores, las baterías y el sistema de control que más se adecuen al coche monoplace cuya carrocería y chasis están ya diseñados. El dimensionado de los cables que forman parte de la circuitería interna se incluyen también en el alcance de este proyecto. No obstante, los elementos exteriores al vehículo tales como el punto de carga o el cable cargador, aunque formen parte del sistema global, no serán estudiados en este proyecto. Una vez seleccionados los componentes se evaluará su cumplimiento con la normativa vigente actual para que pueda circular por la ciudad

### 4. El vehículo eléctrico

#### 4.1 Historia del vehículo eléctrico.

El primer coche eléctrico data de los inicios del siglo XIX y utilizaba baterías no recargables. Los avances en electromagnetismo, fueron factores impulsores para el desarrollo del vehículo eléctrico.

Según [2], en Estados Unidos, Thomas Davenport en 1834 construyó el que se dice que es el primer vehículo eléctrico de la historia. Se trataba de un vehículo en miniatura, que solo se desplazaba haciendo círculos sobre una mesa. Este prototipo de vehículo eléctrico ya se adelantaba 50 años al nacimiento del vehículo de combustión.

Entre 1832 y 1839, un hombre de negocios escocés llamado Robert Anderson inventó el coche eléctrico puro al diseñar un carruaje con tracción eléctrica y pila de energía no recargable.

En paralelo, se produjeron mejoras en las pilas eléctricas. En 1859, Gaston Planté inventó la batería de plomo-ácido, que se podía recargar mediante la regeneración de las sustancias químicas gastadas haciendo pasar una corriente eléctrica en sentido inverso a través de ella. Las baterías iban ganando en capacidad y se inició la fabricación de las mismas a escala mundial.

De esta manera, surgió una etapa de florecimiento de prototipos de vehículos eléctricos. En 1881, el francés Gustave Trouvé presentó en la Exposición Internacional de la Electricidad de París, un vehículo de tres ruedas totalmente funcional, considerado para algunos como el primer vehículo alimentado por



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

electricidad de la historia. Este vehículo contaba con una potencia de 0.1 CV, motor de corriente continua y baterías de plomo.

Este mismo año, Charles Jeantaud construyó el primer coche eléctrico de cuatro ruedas alimentado por 21 baterías al que llamó Tilbury. A continuación se muestra una ilustración de este vehículo:



**Figura 1. Tilbury, diseñado por Charles Jeantaud [3]**

Los coches eléctricos, a nivel general, eran los coches que más se vendían a principios del siglo XX. Esto se debió a su simplicidad, fiabilidad, suavidad de marcha, sin cambio de marchas ni manivela, no hacían ruido, eran veloces, la autonomía era razonable y su coste era soportable para sus primeros usuarios, la clase alta. Al transcurso del tiempo, este tipo de vehículos iban perfeccionando sus prestaciones, consiguiendo así que en 1899, el belga Camille Jenatzy desarrollara el primer coche que superó los 100 kilómetros por hora. La *Jamais Contente*, nombre con el que denominó al vehículo llegó a una velocidad máxima de 105,88 kilómetros por hora. La figura expuesta a continuación muestra una maqueta de este vehículo. [2]



**Figura 2. Maqueta del vehículo La Jamais Contente [4]**

En este contexto, y ya iniciada la segunda década del siglo XX, se produjo un progreso importante en el desarrollo de los coches de combustión gracias entre otros factores a la implantación de un nuevo modelo

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

de producción creado por Henry Ford que consistía en una producción en masa, la cual permitía construir mayor volumen de unidades y por tanto la expansión comercial a otro sector de clientes, antes exclusivo de la clase alta.

A partir de este momento, los coches de combustión ganaron terreno y se podría decir que ocupaban el mercado automovilístico en su totalidad. No obstante, en la década de los 70 empiezan a producirse inquietudes sobre el uso de este tipo de vehículos debido, entre otros factores a las primeras crisis del petróleo, el precio del cual se multiplica por diez de un momento para otro. EL coche eléctrico, en un primer momento, resultaba una alternativa atractiva a los vehículos de combustión. No obstante, la autonomía de las baterías seguía siendo un grave problema en estos vehículos, por lo que las grandes marcas se centraron en mejorar los coches de combustión existentes. Son realmente los problemas medioambientales surgidos, con mayor notoriedad, a finales del siglo XX y principios del siglo XIX los que impulsan el desarrollo de vehículos eléctricos como la mejor alternativa a los coches térmicos. Se van desarrollando y mejorando cada vez más nuevos modelos de baterías con mayor autonomía y motores eléctricos capaces de entregar potencias similares a los de los coches de combustión. Se puede decir que la humanidad actualmente está viviendo el resurgimiento de los coches eléctricos.

### 4.2 Clasificación del vehículo eléctrico

Si bien la historia del coche eléctrico refleja la antigüedad de este tipo de coches poniendo de manifiesto que fueron incluso diseñados antes que los coches de combustión, existe un gran periodo en el cual la industria del automóvil no se preocupó en seguir con el desarrollo de éstos dejando, en consecuencia que los coches de combustión ocuparan el mercado al completo.

Como se mencionó en el apartado anterior, no ha sido hasta bien finalizado el siglo XX e inicios del siglo XXI que las grandes marcas automovilísticas han retomado el desarrollo de los coches eléctricos. Este desarrollo incluye, también, coches que no son del todo eléctricos, sino que su funcionamiento se basa en una combinación de motores de combustión y eléctricos. En esta línea, se puede clasificar los coches eléctricos en:

- Coches híbridos enchufables

Este tipo de vehículo se mueven debido a la combinación y funcionamiento colaborativo y sinérgico de dos motores, uno eléctrico y otro de combustión interna, ambos pueden mover las ruedas independientemente, o trabajando juntos. Tienen un modo de funcionamiento exclusivamente eléctrico (normalmente no muchos kilómetros) y también se pueden enchufar a la red para recargar las baterías.

- Coches eléctricos de autonomía extendida

En este caso el vehículo se mueve debido a un motor eléctrico que se alimenta igualmente de la electricidad de las baterías (que también se recargan enchufando el coche), pero cuando estas se

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

descargan, entra en funcionamiento un motor de combustión interna (normalmente de gasolina) para mover un generador de electricidad que alimente el motor eléctrico (y si se puede, recargue también algo las baterías).

- Coches eléctricos de baterías

Son vehículos cien por cien eléctricos. Se mueven debido a un motor eléctrico que se alimenta de la energía eléctrica acumulada exclusivamente en un paquete de baterías, que se recargan principalmente enchufándolo a la red eléctrica.

Se va a finalizar este apartado con la figura expuesta a continuación en donde se muestra y resume el funcionamiento de los tipos de coche eléctricos mencionados anteriormente:

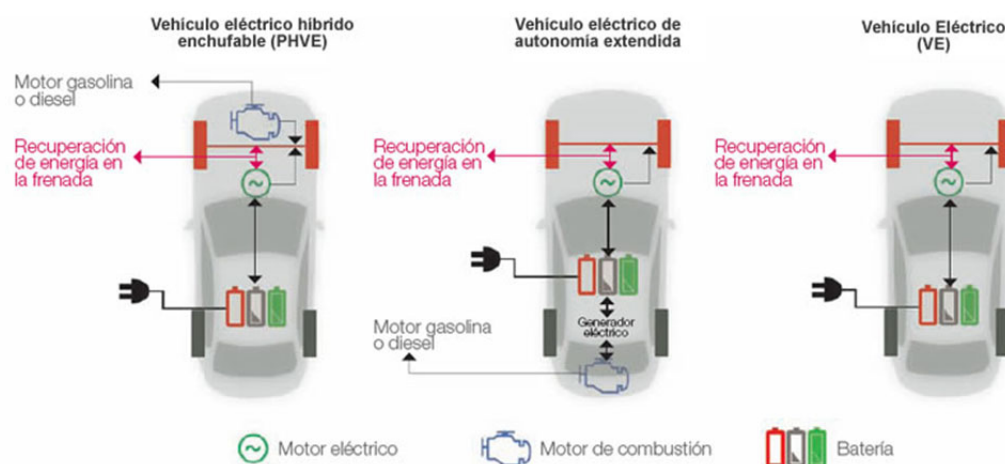


Figura 3. Clasificación coches eléctricos. Fuente: [www.aficionadosalamecnica.net](http://www.aficionadosalamecnica.net)

## 5. Componentes principales del sistema de tracción del coche eléctrico

A continuación se exponen las características técnicas de los distintos elementos principales que forman el sistema de tracción del vehículo eléctrico puro.

### 5.1 Motores eléctricos

En un vehículo eléctrico, el motor de combustión es sustituido por el motor eléctrico, el cual se encarga de transformar la energía eléctrica que absorbe por sus bornes en energía mecánica, transmitiendo esta energía a las ruedas y permitiendo, por tanto, el movimiento del vehículo.

La diferencia de tamaño y complejidad constructiva en cuanto a número de piezas entre un motor eléctrico y un motor térmico es notable. Como prueba de ello se expone a continuación el despiece de un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes frente al despiece de un motor de combustión o térmico.

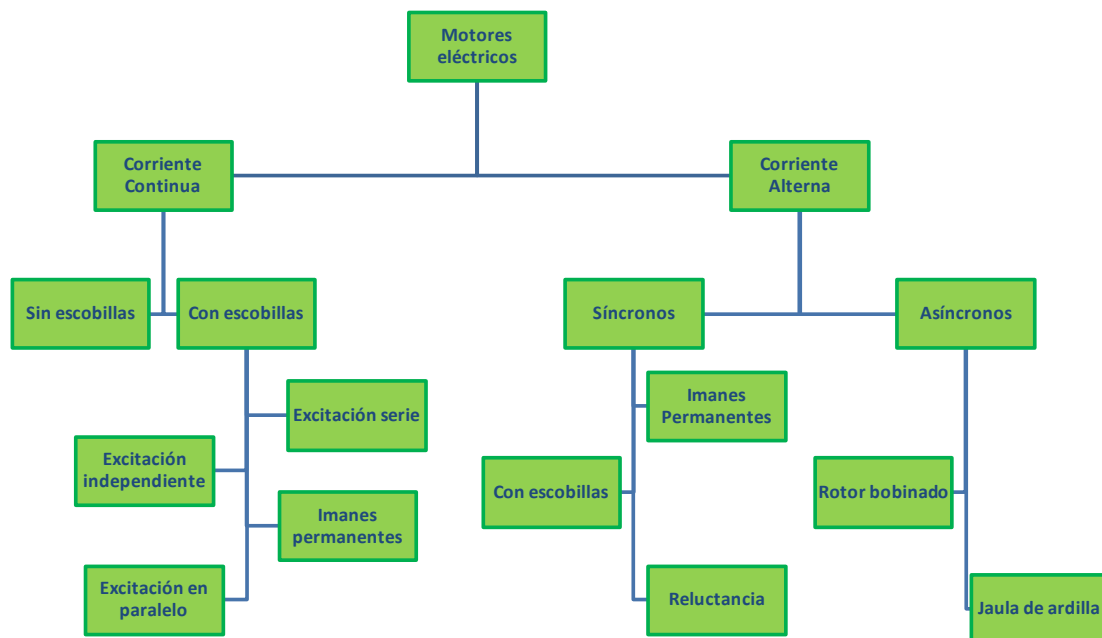
## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad



**Figura 4. Despiece de un motor eléctrico (izq) y de un motor térmico (dcha) Fuente: [www.aficionadosalamecnica.net](http://www.aficionadosalamecnica.net)**

Es importante señalar que el motor eléctrico es una invención anterior al motor de combustión interna. En 1821, Michael Faraday construyó dos aparatos para producir lo que denominaría como rotación electromagnética, fenómeno físico que es el principio de lo que hoy se conoce como motor eléctrico.

Al igual que dos imanes se rechazan o atraen en función de cómo alineamos sus polos, en un motor eléctrico, se usa la electricidad para crear campos magnéticos que se opongan entre sí, de este modo la parte giratoria, llamada rotor, se mueve, frente a la parte estática, llamada estator. Esta es la característica genérica de los motores eléctricos. Estos se clasifican según su alimentación sea por corriente continua o por corriente alterna. En la figura expuesta a continuación muestra la clasificación de los motores eléctricos:



**Figura 5. Clasificación motores eléctricos.**

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

En este proyecto se explicarán los motores eléctricos más utilizados en la industria de vehículos eléctricos.

### 5.1.1 Motor de corriente alterna asíncrono

Este tipo de motores están basados en las máquinas asíncronas. En 1888 es publicado en Italia el descubrimiento original por el profesor Galileo Ferraris y en Estados Unidos por Nikola Tesla.

Según [5], la diferencia de la máquina asíncrona con los demás tipos de máquinas se debe a que no existe corriente conducida a ninguno de los arrollamientos. La interacción entre ambos devanados hace que se cree una corriente en uno de ellos debida a la fuerza electromotriz magnética generada por la acción del flujo del otro. Por este motivo, se conoce también a este tipo de máquinas como máquinas de inducción. Así mismo se puede denominar a este tipo de máquinas como máquinas asíncronas debido a que la velocidad de giro del rotor difiere de la velocidad de sincronismo fijada por la frecuencia de la red.

En [5] también se señala que “hoy en día se puede decir que más del 80% de los motores eléctricos industriales emplean este tipo de máquina, trabajando con una frecuencia de alimentación constante. Sin embargo, el inconveniente más grave que poseen, proviene de la dificultad de regular su velocidad, de ahí que en la tracción eléctrica cedan su puesto a los motores de c.c. Recientemente, sin embargo, con el desarrollo de dispositivos electrónicos como inversores y cicloconvertidores, que permiten obtener una frecuencia variable a partir de la frecuencia constante de la red y con la introducción del microprocesador en la electrónica de potencia, se están realizando grandes cambios, ya que empiezan a extenderse las aplicaciones de los motores asíncronos en los accionamientos eléctricos de velocidad variable”.

El motor de corriente alterna asíncrono, igualmente que cualquier otra máquina de conversión electromecánica de la energía de tipo rotativo, está formada por un estator y un rotor. En el estator se coloca normalmente el inductor, alimentado por una red monofásica o trifásica.

El devanado del estator está construido por tres arrollamientos desfasados  $120^\circ$  en el espacio y de  $2p$  polos, al introducir por ellos corrientes de una red trifásica de frecuencia  $f$ , se produce una onda rotativa de fuerza magneto motriz distribuida senoidalmente por la periferia del entrehierro que genera un flujo giratorio cuya velocidad viene expresada según la ecuación:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} \quad \text{Ec. 1}$$

Siendo  $n_1$  la velocidad de sincronismo y  $p$  el número de pares de polos de la máquina. Este flujo giratorio inducirá f.e.m.s en los conductores del rotor y si está su circuito eléctrico cerrado, aparecerán corrientes que reaccionarán con el flujo del estator.

La velocidad de sincronismo antes mencionada no será la velocidad de giro del rotor ya que si la velocidad del rotor se aproxima a la velocidad de sincronismo, las fuerzas electromotrices inducidas en

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

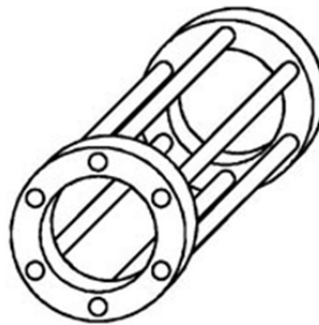
los conductores del rotor se verían reducidos debido al carácter constante que adoptaría el campo magnético giratorio. Con ello además, se reducirían las corrientes que atraviesan el rotor, provocando una reducción del par interno del motor.

De este modo la velocidad de sincronismo  $n_1$  representa el límite teórico al que puede girar el rotor. El motor, por tanto, debe girar a una velocidad inferior a la de sincronismo, siendo así su velocidad de régimen asíncrona. La variación entre la velocidad del motor y la velocidad síncrona, se denomina deslizamiento y se expresa mediante la siguiente ecuación:

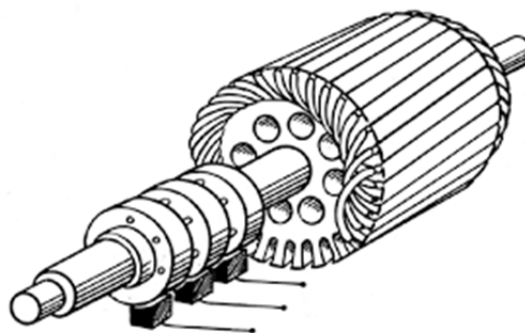
$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad \text{EC.2}$$

El valor de deslizamiento en los motores industriales se encuentra comprendido entre el 3 y el 8% a plena carga.

Este tipo de motores se clasifican dependiendo del tipo de rotor en: motor con rotor de jaula de ardilla o en cortocircuito, o motor con rotor devanado o con anillos. Estos tipos de rotores se pueden apreciar en las siguientes figuras:



**Figura 6. Rotor en jaula de ardilla. Fuente: Sapiensman**



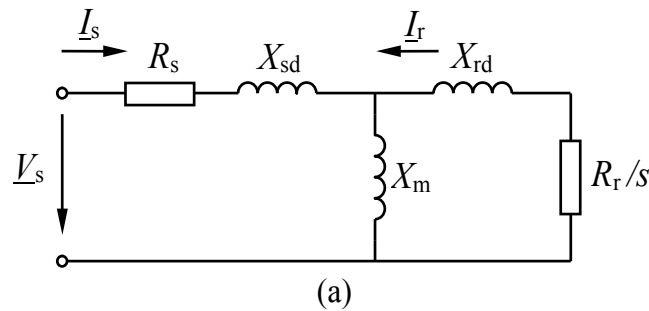
**Figura 7. Rotor devanado o con anillos Fuente: I.E.S. Andrés De Vandelvira**

El rotor está constituido por un conjunto de chapas apiladas, formando un cilindro, que tiene unas ranuras en la circunferencia exterior donde se coloca el devanado.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

En el caso del rotor en forma de jaula de ardilla, se aprecia una serie de conductores de cobre o aluminio dispuestos en cortocircuito por dos anillos laterales (el nombre de jaula proviene del aspecto que tomaría este devanado si se omitiera el apilamiento de hierro). En el tipo de rotor devanado o con anillos, se tiene un arrollamiento trifásico similar al que está situado en el estator, en que las tres fases se conectan por un lado en estrella y por otro se envían a unos anillos aislados entre sí.

El circuito equivalente del motor de inducción queda ilustrado en la siguiente figura:

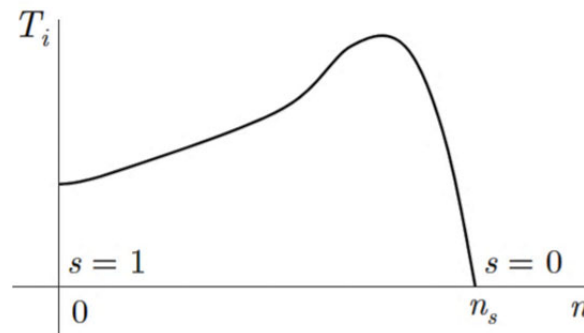


**Figura 8. Circuito equivalente motor de inducción**

En donde la intensidad entregada por el motor  $I'_2$  se podrá calcular como:

$$I'_2 = \frac{V_1}{(R_1 + R'_2 + R'_c) + (X_1 + X'_2) \cdot j} \quad \text{EC.3}$$

La característica par – velocidad para este tipo de motores se ilustra en la siguiente figura:



**Figura 9. Característica Par-velocidad de los motores asíncronos**

Tal y como se puede apreciar en la gráfica, cuando el deslizamiento tiene un valor cero, el motor no genera ningún par debido a que se ha alcanzado la velocidad de sincronismo la cual, como se explicó anteriormente, impide que se generen fuerzas electromotrices en el rotor impidiendo su movimiento.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

### 5.1.2 Motor de corriente alterna síncrono de imanes permanentes

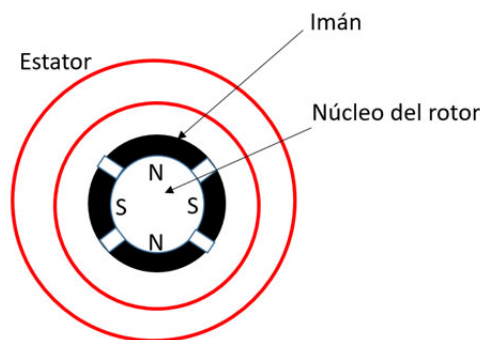
Los motores síncronos de imanes permanentes, de ahora en adelante PSMS por sus siglas en inglés de *permanent magnet synchronous motor*, son un tipo de motor síncrono en los que un imán permanente es utilizado como rotor para crear polos de alimentación.

La construcción básica del PSMS es la misma que el motor síncrono convencional. La única diferencia recae en el rotor, donde los electroimanes o de imanes permanentes (PM) giran sincrónicamente con el campo del estator.

Los imanes permanentes están hechos de materiales con alta permeabilidad y alta coercitividad como samario- cobalto o neodimio. Este último es muy utilizado debido a su abundancia y precio razonable.

En función de la disposición de montaje del imán en el núcleo del rotor, el motor síncrono de imán permanente (PMSM) se puede clasificar en dos tipos: PMSM montados en superficie y PMSM enterrados o interiores.

- Los PSMS montados en superficie, el imán es dispuesto en la superficie del rotor tal y como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 10. Imanes montados en la superficie del rotor.**

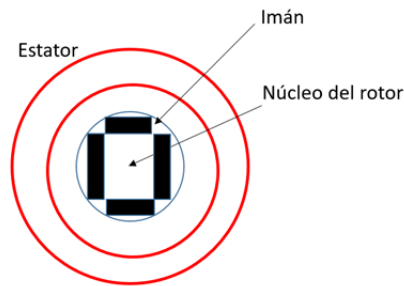
Este tipo de PSMS no es robusto y, por tanto, no es recomendable para aplicaciones a altas velocidades.

Dado que la permeabilidad del imán y el espacio de aire es casi igual, este tipo de construcción proporciona un espacio de aire uniforme. Por lo tanto, no hay par de reluctancia presente. Por lo tanto, el rendimiento dinámico de este motor es superior y, por lo tanto, se utiliza en unidades de máquina herramienta de alto rendimiento y en robótica.

- En los PMSM montados en el interior del rotor, los imanes permanentes son ensamblados dentro del rotor en lugar de la superficie. Esto proporciona robustez y, por lo tanto, se puede utilizar en aplicaciones de alta velocidad. En la figura expuesta a continuación se puede apreciar este tipo de motor:



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad



**Figura 11. Imanes montados en el interior del rotor**

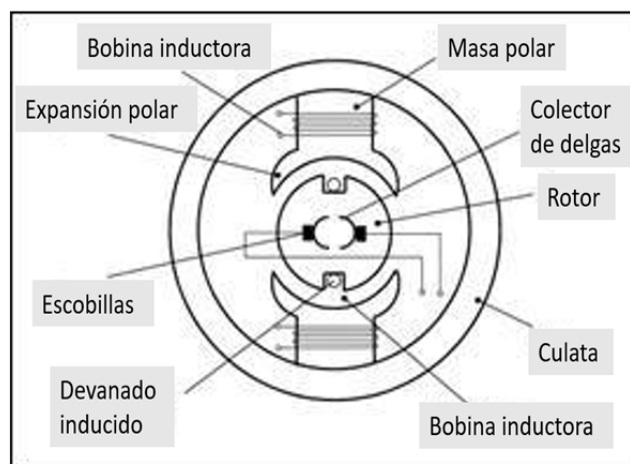
El principio de trabajo del PSMS es el mismo que el de un motor síncrono convencional. Cuando el devanado trifásico del estator está cargado de una fuente trifásica, se crea un campo magnético giratorio en el entrehierro. A la velocidad síncrona, los polos del campo magnético giratorio se bloquean con el campo magnético giratorio para producir un par y, por lo tanto, el rotor continúa girando.

Se sabe que este tipo de motores no son automáticos, por lo que se deben iniciar de alguna manera. Como no hay devanado en el rotor, los devanados de inducción para el arranque no son aplicables para tales motores, y por lo tanto, se utiliza un variador de frecuencia para solventar este problema.

#### *5.1.3 Motor de corriente continua con escobillas.*

El motor de corriente continua, denominado también motor de corriente directa, es una máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica, provocando un movimiento rotatorio, debido a la acción de un campo magnético.

El motor de corriente continua está constituido por una parte fija o estator y una parte móvil o rotor. Sus principales componentes quedan expuestos en la siguiente figura [6]:



**Figura 12. Esquema básico del motor de corriente continua**

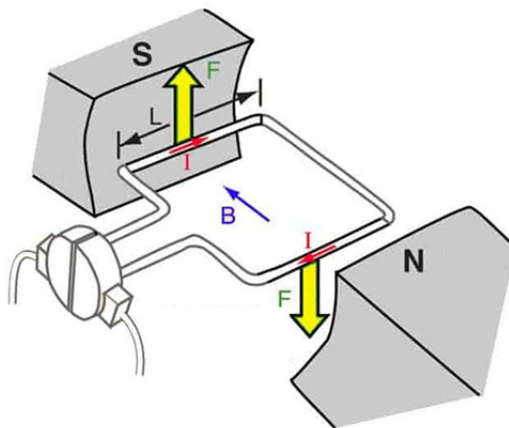
## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

El principio de funcionamiento del motor de corriente está basado en el siguiente concepto: cuando una corriente circula a través de un conductor y este se somete a un campo magnético, el conductor experimenta una fuerza mecánica cuya dirección se puede determinar utilizando la regla de la mano izquierda de Fleming. La magnitud de esta fuerza viene dada por la siguiente expresión:

$$F = B \times I \times L \quad \text{EC.4}$$

En donde B es el campo magnético que actúa sobre el conductor, I es la intensidad de corriente que circula por el conductor y L la longitud de éste. Nótese cómo se ha expresado el símbolo de multiplicación. Esto es debido a que se trata de una multiplicación vectorial y, por tanto, se debe tener en cuenta el ángulo que forman entre si los diferentes parámetros.

De acuerdo con esta regla, cuando una corriente eléctrica atraviesa una bobina situada dentro de un campo magnético, la fuerza magnética produce un giro que hace que la bobina gire. La dirección de esta fuerza es perpendicular a ambos lados del cable y del campo magnético tal y como se puede apreciar en la siguiente figura:



**Figura 13. Representación de la regla de la mano izquierda de Fleming. Fuente: [www.studyelectrical.com](http://www.studyelectrical.com)**

Si se extiende este concepto a un motor multipolar, cuando el conductor se mueve de un lado de una escobilla a otro, la corriente suministrada al conductor se invierte gracias a un conmutador. Al mismo tiempo, se ve atraída por la influencia del polo siguiente el cual tiene la polaridad opuesta. Como consecuencia, la dirección de la fuerza en el conductor permanece constante.

### 5.1.4 Motor de corriente continua sin escobillas. Brushless motor

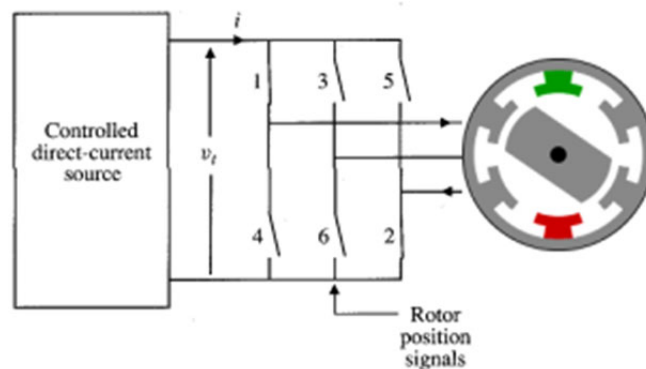
El motor de corriente continua sin escobillas, de ahora en adelante BLDC motor por sus siglas en inglés de *Brushless Direct Current motor*, es un tipo de motor de corriente continua. Como se mencionó en el apartado anterior, el motor de corriente continua utiliza un conmutador para conseguir mantener el par en la misma dirección. En el caso del BLDC motor, tanto el conmutador como las escobillas son eliminados

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

y se sustituyen por un circuito inversor/actuador integrado para conseguir mantener la misma dirección de par. Por este motivo también son conocidos por motores electrónicos conmutados.

Su construcción también se basa en un estator y un rotor. Se colocan los imanes permanentes en el rotor y el estator contiene las bobinas formando los polos.

El estator tiene un bobinado trifásico, donde los conductores de cada fase están distribuidos uniformemente en porciones de arcos de  $60^\circ$ . El sistema de potencia (Fig.9) conectará una fuente controlada de corriente a los bobinados del estator, de manera que en cada momento conectemos 2 fases del bobinado.



**Figura 14. Control de potencia del motor de corriente continua sin escobillas**

Cada imán del rotor interactuará con 2 arcos de  $60^\circ$  por los que circule la corriente.

A continuación se mencionan algunas de las principales del motor de corriente continua con escobillas con el BLDC motor:

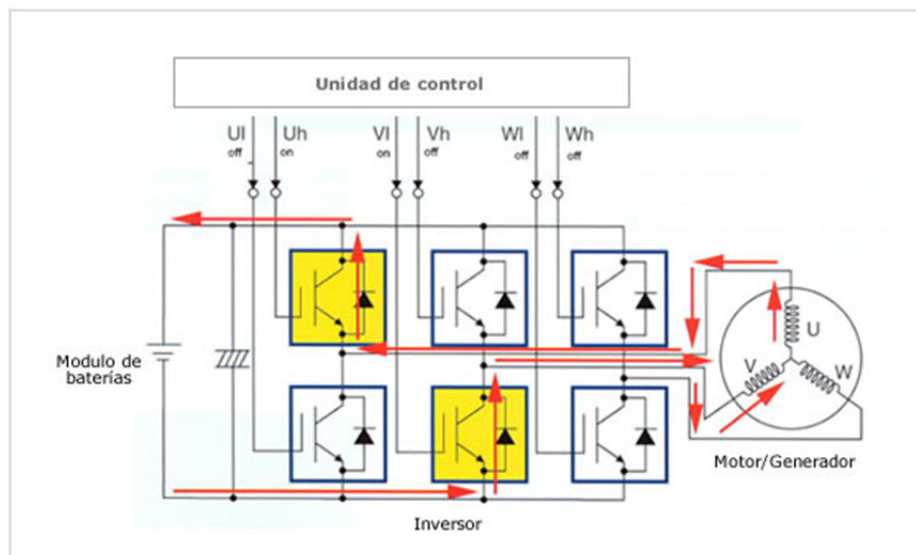
- Las escobillas requieren de un reemplazo frecuente debido al desgaste mecánico, es decir, un motor de corriente continua con escobillas requiere de un mantenimiento periódico.
- Las escobillas limitan la velocidad máxima y la cantidad de polos que puede tener la armadura.
- El BLDC requiere de un circuito de control electrónico para cambiar los imanes del estator y así mantener el motor en funcionamiento, lo que hace que pierda robustez frente al motor con escobillas.
- El BLDC ofrece mayor eficiencia, más ciclo de vida, menos ruido y más par por peso que los motores con escobillas.

## 5.2. Inversor

A parte del motor eléctrico y, como se explicará posteriormente, de las baterías, existe otro componente fundamental en los vehículos eléctricos que es mucho menos nombrado y, como consecuencia, más desconocido por el público en general, el inversor.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

Según [7], el inversor “es el componente que se encarga de extraer energía de las baterías y proporcionársela al motor, de acuerdo con las instrucciones indicadas por el conductor (según la presión en el pedal del acelerador)”. Las baterías proporcionan una determinada tensión, constante pero para conseguir que el motor funcione al régimen de revoluciones deseado, tendremos que alimentarlo con los niveles de tensión adecuados a la demanda mecánica exigida. En muchos casos el motor funciona con corriente alterna, monofásica o trifásica, algo que no puede ser proporcionado directamente de las baterías. La configuración habitual de un inversor trifásico que sirve para controlar el comportamiento del motor de flujo axial es el que es muestra en la siguiente figura, donde se pueden ver sus tres terminales, uno para cada fase.



**Figura 15. Esquema de un inversor trifásico. Fuente [www.aficionadosalamecanica.com](http://www.aficionadosalamecanica.com)**

En cuanto a la tecnología en que se basan estos elementos, la tecnología MOSFET es la más utilizada. No obstante, la tensión de trabajo es baja y, como consecuencia la potencia que puede suministrar también lo es. Afortunadamente se ha desarrollado otra tecnología denominada IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), la cual se ha impuesto a la tecnología MOSFET gracias a que pueden generar tensiones más elevadas, con corrientes medias y altas del orden de 10 a 1000 A.

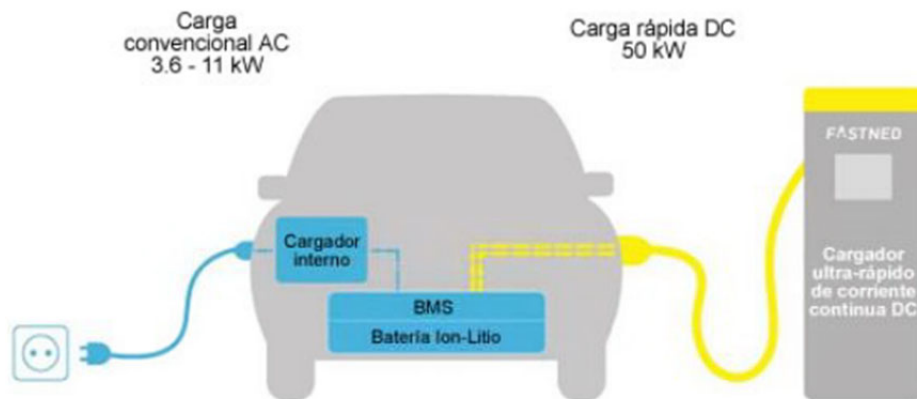
### 5.3 Cargador

El cargador, según [8], “es el encargado de absorber la electricidad de forma alterna directamente desde la red externa y la transforma en corriente continua, la cual almacena en la batería. Existen cargadores de carga rápida y de carga lenta, en función de la velocidad de carga y el tiempo que tarda en cargar la batería del coche eléctrico.”

En el caso de utilizar cargadores ultra-rápidos de corriente continua (DC), no se utiliza el cargador interno del coche sino que se carga la batería directamente, ya que la batería, al estar cargada con corriente

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

continua, no es necesario de un cargador que transforme la corriente alterna (AC) en corriente continua (CC) (Fig.16).



**Figura 16. Alimentación baterías [7].**

Dependiendo de la velocidad de carga se requeriría de un tipo de conector u otro. Los siguientes apartados describirán los tipos de conectores que existen en el mercado y los modos de recarga en los coches eléctricos según [9] y [10].

### 5.3.1 Tipos de conectores.

Los coches eléctricos pueden utilizar conectores convencionales como los que se utilizan en aparatos eléctricos con aplicaciones a menor escala como por ejemplo un secador de pelo. Estos conectores reciben el nombre de conectores domésticos tipo Schuko y responden al estándar CEE 7/4 Tipo F, compatible con las tomas de corriente europeas. Este conector dispone de dos bornes y un elemento de protección o toma de tierra. Capaz de soportar hasta 16 A.

Además del conector convencional mencionado anteriormente, se tienen los siguientes tipos de conectores:

- Conector Tipo 1 o SAE J1772. A este conector también se le denomina Yazaki. Se trata de un estándar americano y, a diferencia del anterior, es específico para vehículos eléctricos. Con un diámetro de 43 milímetros, dispone de cinco bornes, dos para corriente, el de protección o de tierra y dos complementarios destinados al control de movilidad de coche y a la comunicación con la red.
- Conector Tipo2 o Mennekes. Se trata de un conector alemán de tipo industrial. Con un diámetro de 55 milímetros, dispone de siete bornes, cuatro para corriente, el de tierra y dos para la comunicación con la red.
- Conector Tipo 3 o Scame. Este conector puede disponer de cinco o 7 bornes según se quiera conectar a corriente monofásica o trifásica, uno de tierra y uno de comunicación a la red. Admite hasta 32 A.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

- Conector CHAdeMO. El estándar de este conector por preferencia de los fabricantes japoneses. Permite la carga rápida de corriente continua con potencias de hasta 50 kW.
- Conector combinado. Se trata de una solución estándar propuesta por norteamericanos y alemanes. Tiene cinco bornes, destinados al paso de la corriente, el de protección y el de comunicación con la red.

### 5.3.2 Tipos de recarga

Los puntos de recarga de un vehículo eléctrico suelen estar situados en viviendas o en la vía pública y electrolinerías.

Dentro del ámbito doméstico existen dos tipos de recarga:

- Recarga estándar lenta. La intensidad de corriente queda limitada a 16 A. El tiempo de recarga para este tipo se estima entre 8-10 horas.
- Recarga estándar rápida. La intensidad de corriente se limita a 32 A con una demanda de potencia de 7.4 kilovatios.

Para puntos de recarga en vía pública y electrolinerías se tiene:

- Recarga semi-rápida. Las potencias demandadas rondan los 11 kilovatios. Este tipo de recarga suele tener una duración de aproximadamente 1 hora.
- Recarga rápida. Este tipo de recarga es habitual en las electrolinerías en donde la demanda de potencia asciende a unos 50 kilovatios. Permite recargas con una duración de aproximadamente 30 minutos.

Dentro del ámbito doméstico

### 5.3.3 Modos de recarga

El modo de recarga indica la comunicación entre la infraestructura de recarga y el propio vehículo. Existen 4 modos de recarga que se describen a continuación:

- Modo 1. En este modo no existe comunicación con la red. Es típico en las tomas convencionales tipo Schuko.
- Modo 2. No hay comunicación directa, sino que entre el vehículo y el suministro eléctrico hay un dispositivo intermedio de control piloto que sirve para establecer unos parámetros de carga. Requiere protecciones diferenciales y magnetotérmicas.
- Modo 3. Existe una comunicación con la red. Los dispositivos de control y protecciones se encuentran dentro del propio punto de recarga, y el cable incluye hilo piloto de comunicación integrado. Los conectores Mennekes o Scame, por ejemplo, se pueden conectar en este modo.

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

- Modo 4. Existe una comunicación con la red. Hay un conversor a corriente continua y solo se aplica a recarga rápida. Los conectores CHAdeMO son ideales para este modo de recarga.

La figura expuesta a continuación ilustra con mayor claridad los cuatro tipos de modo de recarga antes mencionados:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

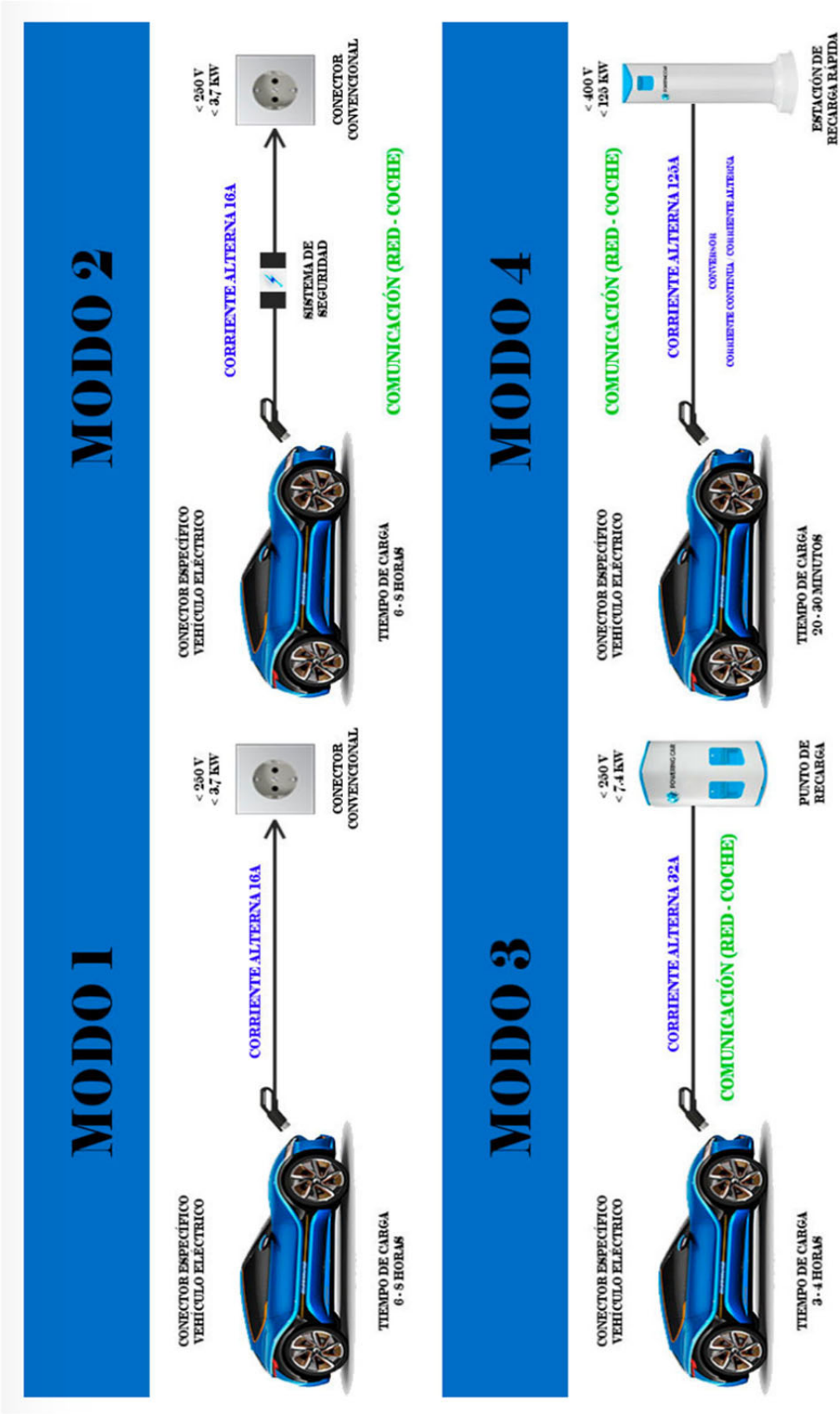


Figura 17. Modos de recarga vehículo eléctrico. Fuente: Powering Car.



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

#### 5.4 Conversor

El conversor o convertidor transforma la alta tensión de corriente continua que aporta la batería principal, en baja tensión de corriente continua. Este tipo de corriente es el que se utiliza para alimentar las baterías auxiliares de 12V (Fig. 19), que son las que alimentan los componentes auxiliares eléctricos del coche.

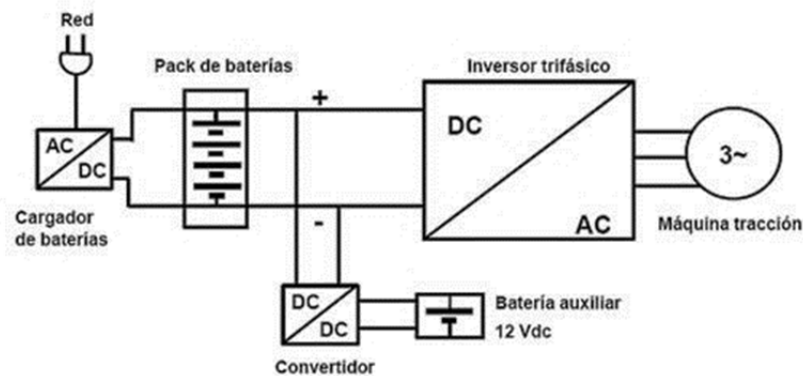


Figura 18. Esquema eléctrico básico de un vehículo eléctrico.

#### 5.5 Baterías

Los vehículos eléctricos requieren de una fuente de energía eléctrica la cual será convertida a energía mecánica por los motores. Esta energía se obtiene normalmente a partir de energía química almacenada en baterías.

Las baterías están compuestas de unas unidades denominadas celdas. Estas se conectan entre ellas y forman las baterías. Es importante señalar que la agrupación de las celdas en primera instancia forman los módulos de celdas, compuestas, normalmente, de grupos de múltiplos de 4 celdas. Estos módulos se agruparán siguiendo una determinada configuración, bien en serie o en paralelo, para formar el pack de baterías.

El pack de baterías debe ser capaz de entregar la energía requerida por el motor, por tanto, por lo que se refiere al diseño de ambos elementos, se cree conveniente diseñar en primer lugar el motor.

En los coches eléctricos, se puede decir que las baterías son el elemento más importante pues tanto la autonomía y el precio del coche van a depender del diseño de las mismas. De hecho, el desarrollo actual de los coches eléctricos se basa, mayoritariamente, en la mejora de las prestaciones de las baterías.

La tendencia actual es investigar el material del que se fabrican. Las primeras baterías, tal y como se explicó en el capítulo 4.1, estaban hechas de plomo-ácido y contaban con una capacidad muy limitada. Afortunadamente, hoy en día las baterías se pueden fabricar de otros materiales.

A continuación se expondrá con detalle, los distintos tipos de baterías más usados en la industria de los vehículos eléctricos.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

### 5.5.1 Baterías plomo-ácido

Como se ha mencionado anteriormente, este tipo de baterías han sido las primeras que se utilizaron para la generación de energía en los coches eléctricos y hasta hace poco eran las preferidas por los fabricantes debido a factores como:

- Precio relativamente bajo
- Disponibilidad de las materias primas
- Fáciles de fabricar
- Buenas características electromecánicas

El modo de trabajo puede ser de dos tipos:

- Modo de descarga. Los electrones son transferidos del electrodo negativo al positivo de donde son consumidos, por tanto, el flujo de corriente sale del electrodo positivo a la carga del motor, tal y como se puede apreciar en la figura expuesta a continuación:

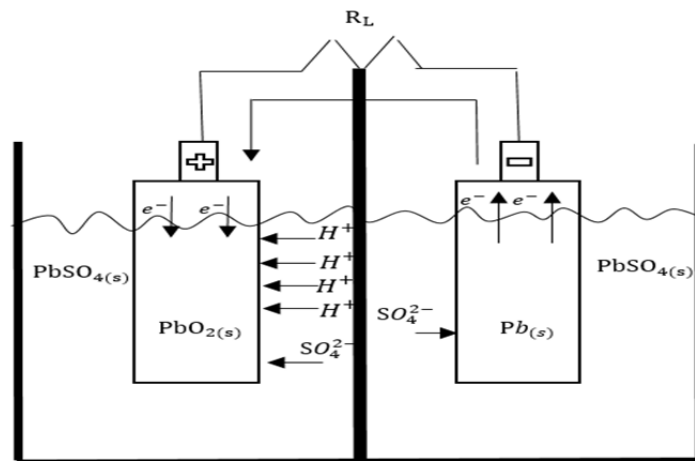
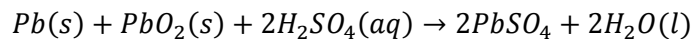


Figura 19. Esquema de la descarga de una celda de plomo-ácido

La reacción que tiene lugar en el modo de descarga queda recogida en la siguiente expresión:



- Modo de carga. La reacción es inversa a la que se produce en el modo de descarga. El sulfato de plomo vuelve a los estados reactivos del plomo y el óxido de plomo. En este modo, el flujo de corriente sale de una fuente externa y entra al polo positivo de donde se lanzan los electrones al electrodo negativo. La siguiente figura ilustra la reacción que tiene lugar en este modo:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

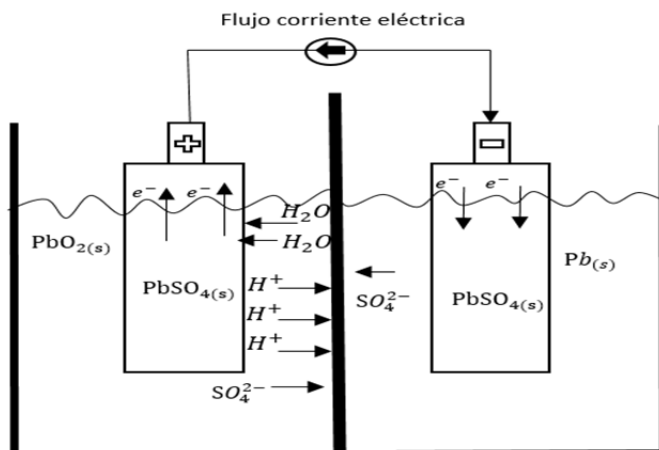
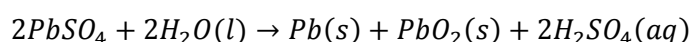


Figura 20. Esquema de la descarga de una celda de plomo-ácido.

La reacción que tiene lugar en el modo de descarga queda recogida en la siguiente expresión:



#### 5.5.2 Baterías de níquel-cadmio

En este tipo de baterías, la energía eléctrica se obtiene a partir de una reacción química de un metal con oxígeno en presencia de un electrolito alcalino. La tensión media en una celda está entre 1,2-1,3 voltios. El peso específico se sitúa entorno a los 40 vatios hora por kilogramo, muy similar a las celdas de plomo-ácido.

Debido a su alto rendimiento a temperaturas bajas, están orientadas a aviones, helicópteros o vehículos militares.

#### 5.5.3 Baterías de níquel-hierro

También denominados baterías de ferróníquel fue desarrollada a principios del siglo XX. En la actualidad no se utilizan en la construcción de vehículos eléctricos debido a su escasa potencia y eficiencia.

#### 5.5.4 Baterías de níquel-hidruro metálico

Se trata de una ampliación del tipo de baterías descrito en el apartado anterior. El electrodo positivo es un óxido de níquel similar al que está presente en las baterías de níquel-cadmio y, el electrodo negativo es un hidruro metálico que almacena hidrógeno. Cuando se someten ciertas aleaciones metálicas al hidrógeno en determinadas condiciones de presión y temperatura, éstas absorben grandes cantidades de gas formando el hidruro del metal, que a su vez reaccionará con el electrodo positivo.

Estas baterías tienen mayor capacidad que las baterías de níquel-cadmio. El minivan eléctrico Epic de la marca Chrysler utiliza este tipo de baterías ofreciendo una autonomía de aproximadamente 150 kilómetros.

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

#### *5.5.5 Baterías de ion-litio*

El inicio del desarrollo de las baterías de litio data de los años 70. Las celdas de litio presentan un alto potencial, entorno a los 3 voltios, y un peso atómico bajo. No obstante, el litio es altamente reactivo con la humedad lo que condujo al estudio de otro tipo de baterías manteniendo sus buenas propiedades.

La segunda generación de baterías de litio condujo a lo que hoy en día se conoce como baterías Ion-litio. Las baterías de Ion-litio consisten en la inclusión de litio en redes cristalinas de elementos como el cobalto o el níquel.

Las baterías Ion- litio ( $\text{LiCoO}_2$ ), litio absorbido en una red cristalina de cobalto, duplican la densidad energética que las baterías de níquel-cadmio con un tamaño tres veces inferior. Se encuentran entre las baterías más utilizadas actualmente en la fabricación de vehículos eléctricos.

Debido al carácter contaminante de estos elementos, se han desarrollado otras tecnologías de baterías de ion- litio:

Las baterías  $\text{LiFePO}_4$  ofrecen un mayor ciclo de vida y una mayor potencia que el tipo anterior, no obstante dispone de una densidad energética inferior y un coste más elevado.

#### *5.5.6 Baterías de aluminio- aire*

Estas baterías ofrecen una capacidad de almacenamiento diez veces superior a las de tipo Ion-litio y una densidad energética aún más superior que el resto de baterías. No obstante, debido a los problemas de recarga, de momento no han sido muy bien aceptados.

#### *5.5.7 Baterías de zinc-aire*

Su fase de desarrollo se encuentra más avanzado que las baterías de aluminio-aire. Estas baterías requieren de oxígeno para generar una corriente. Almacenan el triple de energía que las baterías de ion-litio a mitad de precio.

#### *5.5.8 Comparativa tipos de baterías*

Como se ha podido comprobar en los sub-apartados anteriores, cada tipo de batería ofrece distintas prestaciones. A modo resumen, se expone la siguiente tabla en donde se puede hacer una comparación básica entre los tipos de baterías [11]:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

TIPO DE BATERÍA	ENERGÍA ESPECÍFICA (Wh/kg)	POTENCIA ESPECÍFICA (W/kg)	EFICIENCIA ENERGÉTICA	CICLO DE VIDA	PRECIO APROXIMADO (US\$/kWh)
Plomo-ácido	30-50	150-400	80	500-1000	150-150
Níquel-cadmio	30-50	100-150	75	1000-2000	250-350
Níquel-hidruro metálico	60-80	200-300	70	1000-2000	200-350
Ion-litio	80-130	200-300	>95	1000	200
Aluminio-aire	200-300	100	<50	Fase estudio	Fase estudio
Zinc-aire	100-220	30-80	60	500	90-120

**Tabla 1.** Comparativa de los tipos de baterías

#### 5.5.9 Battery Management System. BMS

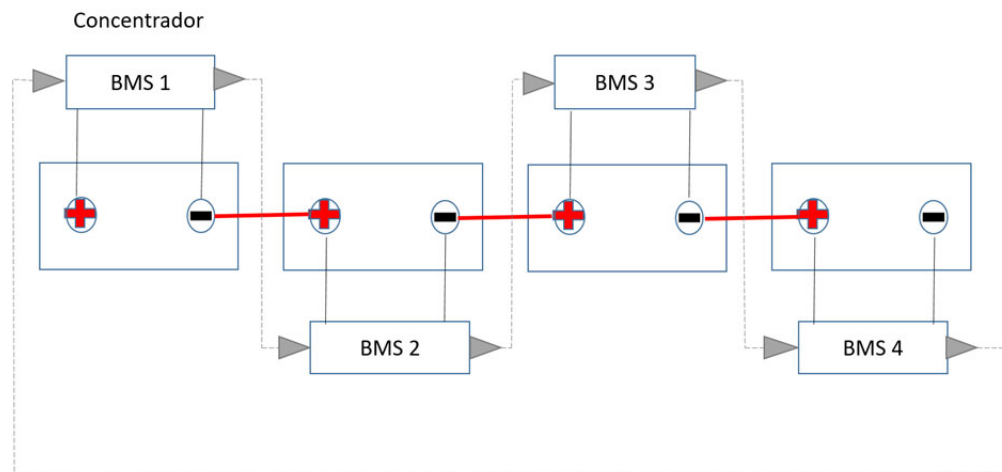
El BMS, traducido literalmente al español como sistema de gestión de baterías, es el cerebro de un pack de baterías que se encarga del control total del mismo. El BMS ofrece información del estado de las baterías al mismo tiempo que las protege de situaciones peligrosas, evitando que puedan operar, por ejemplo, en condiciones ajenas a las condiciones pensadas de trabajo.

El BMS suele tener comunicación con la carga o el sistema de recarga, a los cuales les envía las ordenes. Sus funciones principales son:

- Protección de tensión. El BMS mide la tensión en los bornes de la celda y si supera el valor de tensión máxima o se encuentra por debajo de la tensión mínima informa de un error en la celda.
- Protección de sobre-corriente. En este caso, mide la corriente y si ésta supera la máxima corriente de carga o descarga, el BMS informa del error.
- Protección de temperatura. El BMS se encarga de que la temperatura de trabajo sea la idónea para las celdas, en caso contrario informa del error.
- Informe del estado de carga de las celdas
- Equilibrado de tensión de las celdas. El BMS comprueba que las celdas entreguen la misma cantidad de energía con el objetivo de homogenizar la tensión para maximizar la capacidad de las baterías.

El número de BMS que se debe incluir en el vehículo eléctrico dependerá del número de celdas a controlar. Las configuraciones pueden ser las siguientes:

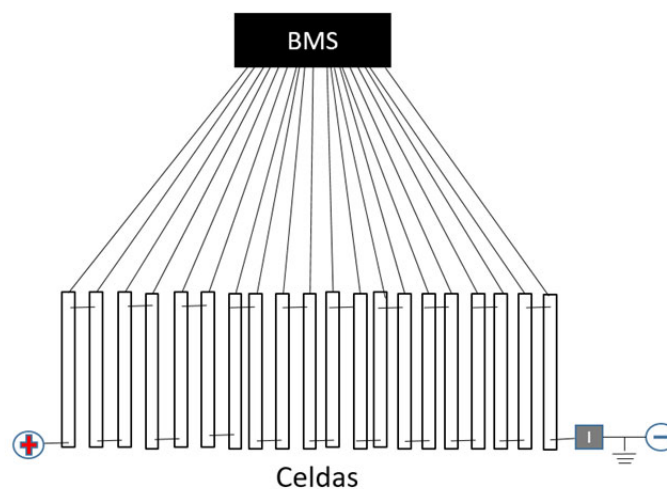
- Distribuida. En esta configuración cada una de las celdas tiene sus propio BMS. Éstos se comunican en anillo y uno de ellos hará la función de concentrador, tal y como se puede apreciar en la figura expuesta a continuación:



**Figura 21. Ejemplo de configuración tipo distribuida de los BMS.**

Se trata de una configuración segura, de fácil montaje y sensible a ruidos.

- Centralizada. En este caso un único BMS se conecta con las celdas. Se trata de una configuración difícil de montar y muy insegura. Además, que no permite la ampliación del número de celdas. La figura expuesta a continuación ilustra este modo de configuración:



**Figura 22. Ejemplo de configuración centralizada de los BMS**

- Modular. Es una combinación de las configuraciones anteriores permitiendo controlar mayor número de celdas. En la figura expuesta a continuación se puede apreciar este tipo de configuración. Nótese la denominación que se le ha otorgado al BMS central y al resto. La sigla E indica el BMS esclavo y la M será el BMS central o maestro.

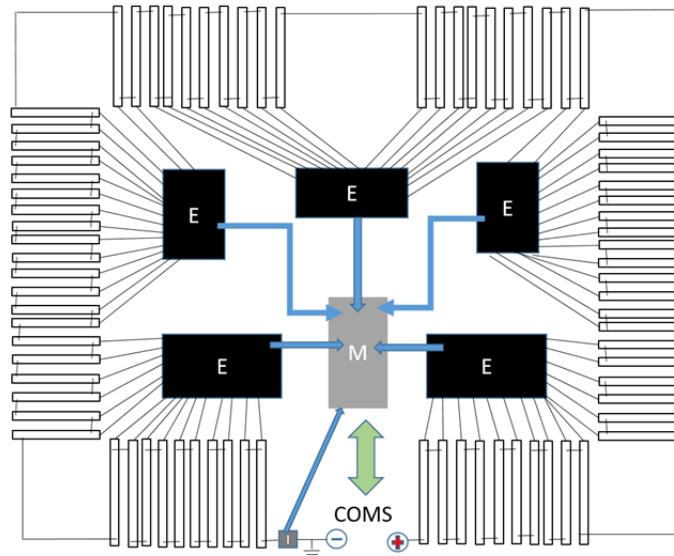


Figura 23. Ejemplo de configuración modular de los BMS

## 6. Selección del motor

Antes de empezar con el diseño del motor es necesario entender la dinámica del vehículo y las fuerzas que influyen en el movimiento del mismo.

El desplazamiento de un vehículo viene determinado por un conjunto de fuerzas que interactúan entre sí. De esta manera, la fuerza total que el vehículo ha de vencer para poder desplazarse, también llamada fuerza de tracción, será la suma de otras fuerzas opuestas al movimiento de este, las fuerzas resistivas al movimiento. A continuación, se expondrán con detalle dichas fuerzas.

### 6.1 Fuerzas resistivas

Estas fuerzas resistivas son producidas principalmente por tres factores o agentes, la deformación de la rueda y asfalto, la fuerza aerodinámica producida por el viento y, por último, la fuerza producida por la aceleración de la gravedad.

#### 6.1.1 Fuerza de rodadura

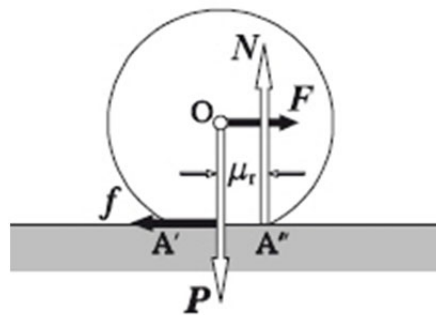
La fuerza resistiva por rodadura es debida a la pequeña deformación que se produce en el neumático. Depende del pavimento, del peso del vehículo, y, especialmente, del tipo de neumático y de su presión de inflado.

Debido al aplastamiento que se genera en la huella durante la rotación de la rueda, la cintura, la banda de rodadura y los flancos se encuentran sometidos a deformaciones que absorben un determinado trabajo por histéresis.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

Según [12], “superada la zona de contacto con el suelo, las partes deformadas vuelven a las condiciones iniciales, pero no pueden restituir todo el trabajo de deformación, una parte del cual se pierde en forma de calor.

Cuando el vehículo circula sobre un terreno blando, también éste se deforma bajo la acción del peso transmitido por la rueda; sin embargo, una vez que ha pasado ésta, el terreno no devuelve al neumático el trabajo de deformación absorbido anteriormente. Por este motivo, la presión en la huella no es constante, sino que resulta mayor en su parte delantera. La resultante vertical de las reacciones del terreno al peso se encuentra, por tanto, desplazada hacia delante respecto al eje de la rueda (cuando la rueda gira). Sólo coincide con el eje cuando la rueda se halla en reposo (Figura 24).”



**Figura 24. Desplazamiento de la fuerza resultante terreno-rueda**

La ecuación que define la fuerza de rodadura queda descrita en la siguiente expresión:

$$F_{RODADURA} = \mu \cdot M \cdot g \quad \text{EC.5}$$

En donde,  $M$  es la masa del vehículo,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $\mu$  es el factor de rodadura. Este parámetro se obtiene a partir de pruebas experimentales las cuales se pueden realizar teniendo en cuenta una circulación en recta o en curva del vehículo. En el primero de los casos, los valores típicos del factor de rodadura están comprendidos entre 0.03 y 0.15, dependiendo siempre de las características del neumático, la masa del vehículo y el terreno. Para el segundo caso, el valor del factor de rodadura se puede obtener a partir del modelo de Pacejka, utilizado ampliamente en simulaciones profesionales de dinámica de vehículos debido a su precisión. Este modelo está basado en el estudio de las fuerzas principales que se producen en la superficie de contacto entre la rueda y el terreno, siendo éstas la fuerza lateral y longitudinal y el par de autoalineación. Cada neumático se caracteriza por un número de coeficientes (entre 10 y 20) a partir de los cuales se generan ecuaciones que muestran cuánta fuerza se obtiene para una carga vertical dada en el neumático, ángulo de inclinación y ángulo de deslizamiento. Este último parámetro es de vital importancia pues gracias a este modelo se puede determinar la fuerza máxima soportada por el neumático durante el frenado del vehículo antes del deslizamiento.

En el caso del presente proyecto, se tendrá en cuenta un valor de factor de rodadura típico de pruebas experimentales de circulación del vehículo en recta.



## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

### 6.1.2 Fuerza aerodinámica

La fuerza resistiva aerodinámica es debida a la acción del aire que rodea el vehículo. Está motivada por el rozamiento producido por el deslizamiento de las capas fluidas, unas sobre otras, durante el movimiento de los vehículos.

Un vehículo al desplazarse tiene que mover un volumen de aire determinado a medida que avanza, y ha de llenar de aire el espacio que se crea tras de sí lo antes posible.

La magnitud de esta fuerza aumenta considerablemente en función de la velocidad del coche, de tal manera que el efecto que se crea será función de si circula a velocidades bajas o altas:

- Cuando se circula a velocidades bajas, el aire que mueve tiene tiempo suficiente para rellenar el espacio que deja libre el vehículo según se desplaza y por tanto la fuerza que ha de superar es mínima. En la zona anterior del vehículo, la presión resultante del aire que incide en el frontal de la carrocería es suave, debido a que el aire tiene tiempo suficiente para fluir de tal manera que no se aglomera delante del vehículo.
- A altas velocidades, la masa de aire que desplaza es mucho más grande por unidad de tiempo, con lo que el aire que rellena el hueco que el coche deja libre al desplazarse disminuye, creando una zona de depresión en forma de turbulencia. Esta depresión succiona el vehículo desde su parte trasera oponiéndose a su avance. Y, al contrario, en la zona delantera del vehículo se crea una presión que también ofrece una resistencia al movimiento debido al amontonamiento de aire que se acumula al avanzar. Consecuentemente la fuerza que ha de superar el vehículo es grande.

Como se ha comentado anteriormente, la fuerza aerodinámica, es debida a la acción del aire que rodea el vehículo. En concreto, los parámetros del aire que afectan a la fuerza aerodinámica son tres, la viscosidad, la densidad y la presión. Si bien estos parámetros se han de tener en cuenta en el cálculo de la fuerza aerodinámica, existen otros parámetros, propios del diseño del vehículo que también influyen en la fuerza aerodinámica tales como la forma del vehículo, la rugosidad de la carrocería, la superficie del área en contacto con el aire y, el más relevante, la velocidad relativa entre el vehículo y el aire.

Si bien el conjunto de estos parámetros han de ser estudiados con detalle con el objetivo de mejorar el comportamiento aerodinámico del vehículo, para simplificar el cálculo de la fuerza aerodinámica, se ha establecido la siguiente expresión:

$$F_{AERODINÁMICA} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot C_D \cdot \rho \cdot v^2 \quad \text{EC.6}$$

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

En donde,  $A$  es el área del vehículo,  $C_D$  es el coeficiente aerodinámico que caracteriza la geometría del cuerpo del vehículo y que se determina experimentalmente,  $\rho$  es la densidad del aire y  $v$  la velocidad del vehículo.

### 6.1.3 Fuerza gravitatoria<sup>1</sup>

La fuerza resistiva gravitatoria o fuerza por pendiente es generada por el propio peso del vehículo cuando este circula por una pendiente o rampa. De esta manera, la fuerza generada opuesta al movimiento del vehículo es directamente proporcional al peso del vehículo y el ángulo de la pendiente tal y como se refleja en la siguiente expresión:

$$F_{GRAVITATORIA} = M \cdot g \cdot \sin \alpha \quad \text{EC.7}$$

### 6.2 Fuerza de tracción

La fuerza de tracción es la fuerza propulsora que ejerce el motor para vencer las fuerzas resistivas anteriormente mencionadas. La ecuación que la rige en función de las fuerzas resistivas viene determinada por la siguiente expresión:

$$F_{TRACCIÓN} = F_{RODADURA} + F_{AERODINÁMICA} + F_{GRAVITATORIA} \quad \text{EC.8}$$

Una vez conocido el valor de la fuerza de tracción y, tal y como se expondrá en el siguiente apartado, es posible empezar con el proceso del dimensionado y elección del motor.

## 7. Dimensionado del motor

### 7.1 Dimensionado del motor

Tal y como se explicó en los primeros capítulos de esta memoria, uno de los objetivos del presente proyecto era la motorización eléctrica de un vehículo eléctrico deportivo que pueda circular por la ciudad.

Basándose en este último aspecto, se creyó necesario conocer cuántos kilómetros de media recorría un español diariamente y por dónde lo hacía pues, no es lo mismo circular por una carretera urbana que por una carretera interurbana debido a que las velocidades de circulación son distintas. Así mismo, una vez conocidas las distancias recorridas en vías urbanas y en interurbanas y las velocidades medias de circulación en éstas, se puede saber el tiempo que se desplaza el vehículo en dichas condiciones.

Se realizó una búsqueda de la distancia recorrida media, mencionada anteriormente, recogiendo los siguientes resultados:

---

<sup>1</sup> Esta fuerza, no será tenida en cuenta en el presente proyecto debido a que el vehículo está estudiado para circular en llano o en pendientes con ángulos próximos a la unidad.

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

DISTANCIA MEDIA RECORRIDA AL DÍA (km)	
En via interurbana (Autovia)	36
En via urbana	11

**Tabla 2.** Distancias medias recorridas diariamente

Como se puede observar, la distancia que recorre diariamente de media un español es de 47 kilómetros, de los cuales 36 los realiza en vía interurbana y 11 en vía urbana, lo cual se puede comparar perfectamente con el recorrido que realiza una persona cuyo puesto de trabajo se encuentre en una fábrica a unos 20 kilómetros de su ciudad de residencia.

Una vez conocidos los kilómetros que se recorren tanto en vía urbana como en interurbana, hacía falta establecer una velocidad máxima de circulación para ambos tipos de vías. Estas velocidades quedan recogidas en la siguiente tabla:

VELOCIDAD MÁXIMA (km/h)	
En via interurbana (Autovia)	120
En via urbana	40

**Tabla 3.** Velocidades máximas según el tipo de vía

De esta manera, se adopta una velocidad máxima en autovía de 120 kilómetros por hora tal y como se recoge en el Reglamento General de Circulación. En cambio, nótese que la velocidad máxima en vía urbana que se adopta en este proyecto es de 40 kilómetros por hora, distinta a la que se recoge en este mismo reglamento (50 kilómetros por hora). Este hecho tiene su explicación en que se decidió adoptar, para este caso, una velocidad más real ya que debido a la cantidad de semáforos y pasos de peatones existentes en el núcleo urbano, se creyó más probable circular a esta velocidad.

A partir de estas velocidades se podrá calcular las especificaciones del motor. Tal y como se explicó en el capítulo anterior, para que un vehículo pueda circular, su motor ha de generar una fuerza tal que pueda vencer las fuerzas resistivas en ciertas condiciones.

De esta manera los pasos que se siguieron para el dimensionado del motor fueron los siguientes:

#### *7.1.1 Cálculo de las fuerzas resistivas*

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen tres fuerzas resistivas: la resistencia por rodadura, la resistencia aerodinámica y la resistencia gravitatoria. Esta última, no se tuvo en cuenta en el presente proyecto.

Para el cálculo de la resistencia por rodadura se consideraron los siguientes parámetros:

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

PARÁMETROS RESISTENCIA RODADURA	
Coefficiente de rodadura $\mu$	0,12
Masa del coche (kg)	750
Gravedad ( $m/s^2$ )	9,81

**Tabla 4.** Parámetros para el cálculo de la resistencia por rodadura.

La masa total del vehículo se estimó en unos 750 kilogramos. Se adoptó este valor haciendo una media aproximada entre el peso de un coche comercial y similar al que propone este proyecto, el Renault Twizy y un coche de competición, en concreto un coche lanzado para la temporada 2018/2019 de la Formula E. (Ver anexo II)

El valor de la aceleración de la gravedad es un valor tabulado y para el valor del coeficiente de rodadura  $\mu$ , se ha optado por un valor de 0,12, significativamente un valor alto. Tal y como se explicó en el apartado anterior, el valor de  $\mu$  en pruebas experimentales de circulación en recta estaba comprendido entre 0.03 y 0.15. Para el presente proyecto se pretende estudiar los valores más desfavorables posibles por lo que se ha tenido en cuenta una circulación de las ruedas en terrenos de poca adherencia como por ejemplo un terreno de hierba, barro y arena. No obstante, y aunque no se ha tenido en cuenta para el cálculo de la fuerza de rodadura, se adjunta en el apartado de anexos el modelo de Pacejka perteneciente a los neumáticos dispuestos para el presente proyecto. (Ver Anexo III)

Si se sustituyen estos parámetros en la ecuación 5, se obtuvo una resistencia de rodadura de **882,90 N**.

Para el cálculo de la resistencia aerodinámica se consideraron los siguientes parámetros:

PARÁMETROS RESISTENCIA VIENTO	
Coefficiente de arrastre	0,6
Área ( $m^2$ )	1,35
Densidad aire ( $kg/m^3$ )	1,225

**Tabla 5.** Parámetros para el cálculo de la resistencia aerodinámica

El área de 1,35 metros cuadrados corresponde al área frontal del vehículo. La densidad del aire es un parámetro estandarizado y tabulado, y el coeficiente de arrastre (Drag coefficient) fue proporcionado por el diseñador de la carrocería del vehículo.

Así pues y sustituyendo estos parámetros en la ecuación 6, se obtuvo una resistencia aerodinámica de **551,25 N**. Nótese que en la ecuación falta el parámetro de la velocidad. Como lo que se pretende es estudiar el caso crítico de velocidad, es decir, la velocidad más alta a la que por normativa el vehículo puede circular, ya que será este valor el que genere una fuerza superior; la velocidad que se ha considerado en esta ecuación es la de 120 km/h.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

Es importante añadir que para poder operar con la velocidad es necesario, en el caso que no estén en la unidad correcta, pasarla a las unidades que corresponda. La tabla expuesta a continuación muestra las velocidades, comúnmente usadas en kilómetros por hora, expresadas en distintas unidades.

CUADRO DE VELOCIDADES			
Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Velocidad (rpm)	Velocidad (rad/s)
120	33,33	968	101,37
40	11,11	323	33,82

**Tabla 6.** Tabla de velocidades expresadas en distintas unidades

Sustituyendo estos valores de fuerzas resistivas en la ecuación 8, se puede obtener la fuerza que debe generar el motor (fuerza de tracción), la cual dió un valor de **1434,15 N**.

### 7.1.2 Cálculo de la potencia

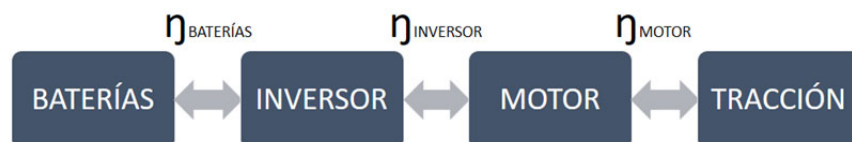
Si bien el valor de la fuerza de tracción es un valor relevante para el dimensionado del motor, a la hora de adquirir un motor realmente lo que se tiene en cuenta es la potencia que debe entregar éste. Por lo tanto, será necesario calcular la potencia requerida del motor.

Para el cálculo de la potencia del motor se hará referencia a la siguiente expresión:

$$P = F_{TRACCIÓN} \cdot v \quad \text{EC.9}$$

En donde  $F_{TRACCIÓN}$ , es la fuerza de tracción anteriormente calculada y  $v$  es la velocidad del vehículo en metros por segundo. El valor de potencia obtenido de la expresión anterior corresponde a un valor de potencia ideal. Para explicar este último aspecto, se va a introducir una breve explicación acerca de la transmisión de potencia entre los elementos principales del tren de tracción del vehículo eléctrico.

La potencia que sale de las baterías no se transfiere en su totalidad a través de los distintos elementos, sino que se transfiere en función del rendimiento de cada uno de ellos. A continuación, se expone el esquema básico del tren de potencia de tracción:



**Figura 25.** Esquema básico tren de potencia de tracción

Por lo tanto, será necesario tener en cuenta los distintos rendimientos a la hora de hallar las potencias requeridas en los distintos componentes.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

Para el caso del motor, se ha adoptado un rendimiento estándar del 85%. Sustituyendo los valores correspondientes a la ecuación 9, se obtiene una potencia de 54.980 W.

Es importante señalar que la fuerza de tracción a partir de la cual se ha calculado la potencia anterior, hace referencia a la fuerza total del eje y la que un motor debería entregar para que el vehículo pueda desplazarse. Tal y como se explicará posteriormente, la configuración del sistema de tracción elegido en el presente proyecto consiste en dos motores situados en el eje anterior. De esta manera, la fuerza y por tanto la potencia que debe entregar el motor valdrá la mitad de la potencia total del eje. Así pues, la potencia que debe entregar el motor es de **27.490 W**. De entrada, cualquier motor del mercado que supere este valor de potencia será válido para este proyecto.

Además se quiere comprobar otro parámetro característico de los motores, el par. El par necesario en el eje se puede obtener a partir de la potencia. Se trata de un momento angular y por tanto será función de la velocidad angular de giro de la rueda. Esta velocidad se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \text{EC.10}$$

En donde  $v$  es la velocidad lineal de circulación del vehículo y  $r$  es el radio de la rueda. En el caso límite de velocidad de 120 kilómetros por hora y para un radio de rueda de 0,329, se obtuvo un valor de velocidad angular de 101,37 rad/s.

Con el valor de la velocidad angular y el valor de la potencia, se puede obtener el par necesario en el eje para la velocidad de 120 kilómetros y con las condiciones del vehículo antes expuestas utilizando la siguiente expresión:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad \text{EC.11}$$

Sustituyendo los valores se obtiene un par necesario de **271,17 N·m**. Este valor de par es el que se cotejará con los pares que ofrece cada motor según la velocidad crítica, de tal manera que los pares que superen este valor serán válidos para el presente proyecto.

A modo resumen se exponen en la siguiente tabla los requisitos mínimos que debe cumplir el motor a integrar en el sistema de tracción del vehículo para este proyecto:

REQUISITOS MOTOR	
Potencia (kW)	28
Par a velocidad de 120 km/h (N·m)	272
Peso (kg)	50

**Tabla 7.** Parámetros del motor

Como se ha ido exponiendo a lo largo de esta memoria, para realizar los cálculos se ha hecho uso de las ecuaciones que definen los parámetros necesarios para el dimensionado del motor. Si bien, estos

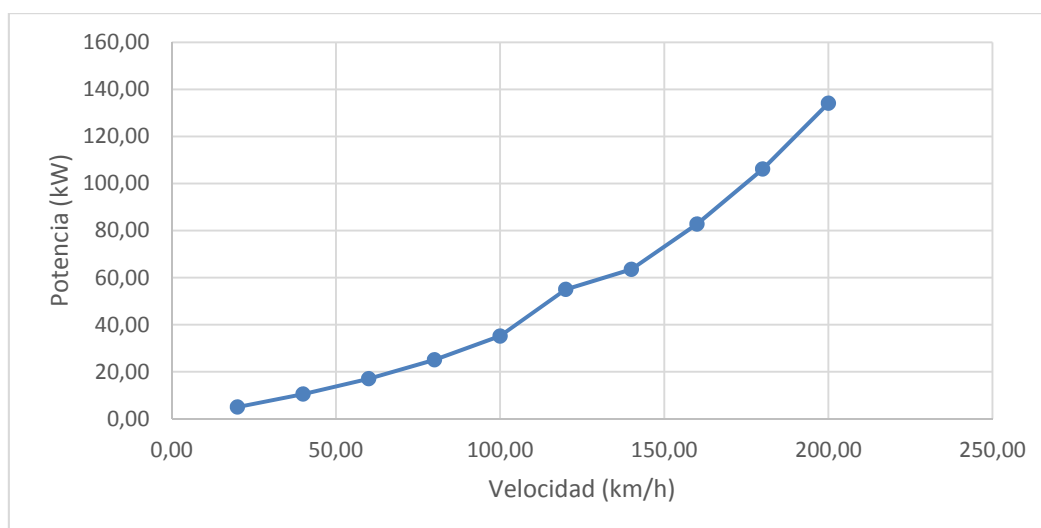
## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

parámetros se han estudiado para la velocidad crítica de 120 kilómetros por hora, resultaba interesante saber las distintas potencias necesarias a entregar por el motor a distintas velocidades. Por ello, se hizo uso del programa Excel con el objetivo de automatizar este cálculo, y así poder ver la variación de la potencia en función de la velocidad. El patrón de variación consistió en incrementar en 20 kilómetros por hora hasta una velocidad de 200 kilómetros por hora tal y como se puede apreciar en la tabla expuesta a continuación. Nótese que los valores resaltados corresponden a los valores de velocidad objeto de estudio en este proyecto para ambos tipos de vía.

CÁLCULOS MOTOR							
Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Tiempo	Res_Rueda	Res_Viento	Potencia Total(kW)	Potencia 1 motor (kW)	Par 1 motor (Nm)
200	55,56	0,18	1103,63	1531,25	146,38	73,19	722,03
180	50	0,2	1103,63	1240,31	117,2	58,6	578,07
160	44,44	0,23	1103,63	980	92,61	46,3	456,78
140	38,89	0,26	1103,63	750,31	72,1	36,05	355,62
120	33,33	0,3	1103,63	551,25	55,16	27,58	272,09
100	27,78	0,36	1103,63	382,81	41,29	20,64	203,66
80	22,22	0,45	1103,63	245	29,97	14,98	147,82
60	16,67	0,18	1103,63	137,81	20,69	10,35	305,85
40	11,11	0,28	1103,63	61,25	12,94	6,47	191,33
20	5,56	0,55	1103,63	15,31	6,22	3,11	91,89

**Tabla 8.** Potencias requeridas en función de la velocidad

En la gráfica expuesta a continuación se puede apreciar la relación entre la potencia necesaria en el motor en función de la velocidad a la que recorre el vehículo.



**Figura 26.** Gráfica Potencia-Velocidad

### 7.2 Elección del motor

Como se explicó en los primeros capítulos de la presente memoria, hoy en día se utilizan distintos tipos de motores eléctricos para el diseño del tren de tracción. Dentro de los motores de corriente alterna

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

destacaban el motor asíncrono o de inducción, o el motor síncrono de imanes permanentes, y dentro de los motores de corriente continua destacaban por un lado el motor sin escobillas y por otro el motor con escobillas.

La tabla expuesta a continuación muestra los criterios y sus correspondientes pesos en los que se basó la elección del tipo de motor:

CRITERIO	PESO
Presencia en el mercado actual	30%
Mantenimiento	17,5%
Potencia	17,5%
Eficiencia	17,5%
Precio	17,5%

**Tabla 9.** Criterios de elección del motor

El criterio de presencia en el mercado actual se le otorgó mayor peso ya que se pretende elegir un motor que sea de los más usados a nivel comercial con el objetivo de hacer una mejor comparación del vehículo dimensionado en el presente proyecto y los vehículos eléctricos disponibles en el mercado, además de demostrar implícitamente la fiabilidad del tipo de motor.

El cálculo del cómputo global para cada criterio consistió en la otorgación de una serie de puntuaciones del 1 al 10 siendo el 1 el valor menos favorable y 10 el valor más favorable. El valor total será el resultado de sumar los valores obtenidos de multiplicar cada una de estas puntuaciones por el peso correspondiente a cada criterio. La tabla expuesta a continuación recoge el cómputo global obtenido para cada criterio.

TIPO DE MOTOR	PRECIO	MANTENIMIENTO	POTENCIA	EFICIENCIA	PRESENCIA EN EL MERCADO ACTUAL	TOTAL
AC inducción	6	6	8	6	6	6,35
AC síncrono imanes permanentes	6	6	8	8	10	7,9
DC brushed	8	2	6	2	4	4,35
DC brushless	8	4	6	2	6	5,3

**Tabla 10.** Puntuaciones tipo de motor.

Es necesario hacer una serie de aclaraciones respecto a las puntuaciones expuestas en la tabla anterior. Para el criterio del precio, se ha dado mayor puntuación a los motores de corriente continua pues su construcción es más económica que los motores de corriente alterna. Si bien es cierto que a medida que se van desarrollando cada vez más los motores de corriente alterna su precio disminuye considerablemente.



## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

En cuanto al criterio de mantenimiento, los peores motores puntuados han sido los de corriente continua ya que al tener o bien escobillas o bien imanes permanentes, estos elementos se desgastan y desprenden un polvo conductor lo que dificulta y encarece su mantenimiento.

Por lo que se refiere a la potencia entregada, los motores de corriente alterna han recibido mayor puntuación, debido a que son los que más densidad de potencia disponen.

El motor de corriente alterna síncrono de imanes permanentes es el que mayor puntuación en eficiencia ha recibido pues presenta un elevado rendimiento con altas densidades de potencia.

Por último, en el criterio de presencia en el mercado actual, el motor síncrono de imanes permanentes ha obtenido la mayor puntuación. Si bien, el motor de inducción cada vez más gana terreno, hasta el momento el motor síncrono es el más utilizado por las distintas marcas de coches eléctricos.

El caso del motor de corriente continua es bien distinto. Aunque es el primer tipo de motor que se utilizó para el diseño de los coches eléctricos, hoy en día su uso está enfocado para el diseño de coches eléctricos híbridos.

De este modo queda elegido el motor de corriente alterna síncrono de imanes permanentes para su inclusión en el sistema de tracción del vehículo estudiado en el presente proyecto.

Una vez establecido el tipo de motor, se procedió a la búsqueda del motor en tiendas comerciales. De los motores encontrados, se realizó una primera criba donde se seleccionaron los siguientes motores:

- TM4 MOTIVE MV360
- TM4 MOTIVE MV275
- UQM POWERPHASE 100 TRACTION SYSTEM
- UNI DRIVINGSYSTEM 55/100 kW
- UNI DRIVINGSYSTEM 36/70 kW

Las especificaciones de cada motor quedan expuestas en los anexos de la presente memoria. (Ver Anexo I).

A modo de recordatorio, la potencia que debe entregar el motor como mínimo era de aproximadamente unos 28 kilovatios. Se evaluaron las potencias máximas que entregaban cada uno de los motores, las cuales superan con creces este valor y, como consecuencia podrían ser válidos para el proyecto. Para afianzar más el criterio de potencia, además de comprobar las potencias máximas, se comprobaron las potencias nominales, pues estas potencias se suelen acercar más a las potencias reales de trabajo. La tabla mostrada a continuación expone las comparaciones en cuanto al cumplimiento del requisito de potencia de los motores comerciales:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

MODELO	POTENCIA NOMINAL (KW)	POTENCIA MÁXIMA (kW)	REQUISITO DE POTENCIA
TM4 MOTIVE MV 360	90	150	CUMPLE
TM4 MOTIVE MV275	70	120	CUMPLE
UQM Powerphase 100 Traction System	60	100	CUMPLE
Uni drivingsystem 55/100kW	55	100	CUMPLE
Uni drivingsystem 36/70 kW	35	70	CUMPLE

**Tabla 11.** Comprobación del cumplimiento de la potencia

Una vez comprobado el requisito de potencia, se procede a comprobar el requisito del par motor. El valor de par que el motor a elegir debe superar, valor calculado anteriormente, es de unos 272 Newtons por metro..

El valor de par que entrega cada motor a cierta velocidad se puede obtener o bien de la gráfica potencia-velocidad o de la gráfica par-velocidad características de cada motor. El fabricante es libre de proporcionar ambas o alguna de las gráficas mencionadas.

Se evaluaron dichos pares y se cotejaron con el valor de par calculado, la comparativa se recoge en la tabla expuesta a continuación:

MODELO	T (v=120 km/h)	REQUISITO PAR MÁXIMO	T (v=40 km/h)
TM4 MOTIVE MV 360	358	CUMPLE	351,82
TM4 MOTIVE MV275	274	CUMPLE	270,22
UQM Powerphase 100 Traction System	295,95	CUMPLE	295,64
Uni drivingsystem 55/100kW	310	CUMPLE	827,80
Uni drivingsystem 36/70 kW	260	NO CUMPLE	1123,45

**Tabla 12.** Comprobación del cumplimiento del par máximo

Como se puede observar en la tabla, el requisito de par lo cumplen todos excepto el último motor por lo cual queda descartado. No obstante, se quiso comprobar este requisito también para velocidades bajas. Nótese que en la columna de la derecha se recogen los pares, obtenidos a partir de las gráficas, a una velocidad de 40 kilómetros por hora (considerada como una velocidad baja). Como se puede apreciar, el último motor de la lista que cumple el requisito de par, para velocidades bajas exige un par muy elevado que sobrepasa su par motor máximo por lo que, al igual que el anterior, se descarta.

De los tres motores restantes, los de la marca TM4 no proporcionaban datos referentes al precio de los productos, por lo que se decidió contactar vía correo electrónico con la empresa, recibiendo como respuesta que los precios además de depender de las dimensiones requeridas por el cliente, no estaban autorizados a entregar ese dato a particulares. Debido a estos percances se decidió finalmente optar por el motor **UQM Powerphase 100 Traction System**.

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

### 7.3 Elección del controlador del motor

Tal y como se explicó en capítulos anteriores, es necesario que el motor vaya acompañado de un elemento auxiliar, el inversor o controlador, que se encargue de transferir la energía proporcionada por las baterías. En el caso del motor elegido, el control del mismo recaerá en el inversor proporcionado por el fabricante.

Se trata del inversor UQM 1000T-002. Este inversor presenta una limitación de tensión de 425 VDC, lo cual es un factor a tener en cuenta ya que el par máximo que puede entregar el motor está comprobado a una tensión de al menos 335 VDC. En el apartado de anexos se adjunta las especificaciones de este inversor.

## 8. Dimensionado y elección de las baterías

### 8.1 Dimensionado de las baterías

El dimensionado de las baterías depende fuertemente de las características establecidas del motor y del inversor y por este motivo se debe realizar una vez se ha hecho el dimensionado de estos.

En los siguientes apartados se explicarán los pasos que se han seguido para el dimensionado de las baterías.

#### 8.1.1 Cálculo de la energía

La energía requerida en los motores hace referencia a la potencia que debe ser entregada a los mismos por unidad de tiempo.

Para el caso de estudio del presente proyecto, el tiempo al que se debe entregar la potencia será el tiempo necesario para recorrer los 47 kilómetros de media que recorre un español diariamente y dependerá de la velocidad a la que lo haga. Tal y como se mencionó anteriormente, se ha adoptado la velocidad de 120 kilómetros por hora para el tramo por autovía y la velocidad de 40 kilómetros por hora para el tramo en vía urbana. El tiempo transcurrido en función de la velocidad y de la distancia recorrida,  $e$ , se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$t = \frac{e}{v} \quad \text{EC.12}$$

La tabla expuesta a continuación recoge los resultados de los tiempos obtenidos para ambos casos de velocidad y distancia recorrida:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

VELOCIDAD (km/h)	DISTANCIA (km)	TIEMPO (h)
120	36	0,3
40	11	0,28

**Tabla 13.** Cálculo de los tiempos recorridos en cada tipo de vía

Para el cálculo de la energía, se debe conocer la potencia real que requieren los motores para ambas condiciones de velocidad. Estas potencias se han obtenido de la gráfica potencia-velocidad que facilita el fabricante. De esta manera, para la velocidad de 120 kilómetros por hora, la potencia es de 30.000 vatios y para la velocidad de 40 kilómetros por hora es de 10.000 vatios. Ahora bien, estos valores de potencia no corresponden a la potencia total del eje. Es importante recordar, que el sistema de tracción del vehículo consistirá en dos motores y por tanto, las potencias a entregar a los mismos para ambos casos de velocidad, ha de ser el doble que las potencias expuestas anteriormente. A modo resumen se exponen los parámetros que se tendrán en cuenta para el cálculo de la energía.

VELOCIDAD (km/h)	POTENCIA (kW)	POTENCIA TOTAL (kW)	TIEMPO(h)
120	30	60	0,3
40	10	20	0,28

**Tabla 14.** Potencias requeridas según gráfica potencia-velocidad del fabricante

Una vez hallado los valores reales de potencia y el tiempo durante el cual debe ser entregado el mismo, se procede al cálculo de la energía.

Para ello se va a hacer uso de la siguiente expresión:

$$E = \sum_{i=1}^2 (P_i \cdot t_i) \quad \text{EC.13}$$

Nótese que el sumatorio tendrá en cuenta los dos valores de potencia y tiempo que se recogen en la tabla anterior. De la expresión se obtiene un resultado de 23.500 vatios.

Este valor corresponde a la energía requerida en los motores para dichas condiciones pero no corresponde que la energía suministrada por las baterías. Si se recuerda el esquema básico del tren de potencia de tracción expuesto en capítulos anteriores, tanto las baterías como el inversor de los motores no transfieren la energía en su totalidad, sino que depende del rendimiento de cada uno de estos componentes. Es por esto, que la energía que suministran será de un valor mayor al valor calculado mediante la expresión anterior. De esta manera, y con el objetivo de calcular la energía real a entregar por las baterías, se ha tenido en cuenta un rendimiento en el inversor del 90 % y de las baterías del 85%. Estos valores son inferiores a la media, pero se han adoptado con el objetivo de estudiar un caso muy crítico.

Además, es necesario tener en cuenta el límite de descarga de las baterías ya que éstas no se pueden descargar al 100%. Esta porción de descarga es variable en cada configuración de baterías y su valor está especificado en la ficha técnica que facilita cada fabricante. En este caso y siendo las baterías totalmente

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

nuevas, se ha considerado que las baterías se pueden descargar hasta un valor del 95% de la energía total de las baterías.

Teniendo en cuenta estas últimas puntualizaciones, la energía real que debe suministrar las baterías se calculará utilizando la siguiente expresión:

$$E_{real} = E \cdot \eta_{Inversor} \cdot \eta_{baterías} \cdot \eta_{Descarga} \quad \text{EC.14}$$

Sustituyendo los valores se obtiene una energía de **31.214 vatios**.

### 8.1.2 Cálculo de la capacidad

La capacidad de una batería hace referencia a la cantidad de amperios que es capaz de entregar por unidad de tiempo. La capacidad se puede obtener utilizando la siguiente expresión:

$$Capacidad = \frac{E_{real}}{V} \quad \text{EC.15}$$

El valor de energía real es el que se calculó en el apartado anterior y la V hace referencia a la tensión de entrada del motor. El valor asignado a esta tensión ha sido de 335 VDC ya que, como se ha mencionado con anterioridad, los valores de potencia han sido obtenidos de la gráfica facilitada por el fabricante y ésta a su vez ha sido generada a partir de ensayos realizados a este valor de tensión.

Sustituyendo los datos en la expresión anterior se obtiene una capacidad de **93,17 Ah**. La configuración, por tanto, de las baterías debe ser tal que como mínimo se entreguen los 93,17 amperios hora y que puedan alimentar al conjunto inversor-motor con una tensión de al menos 335 VDC.

En cuanto al peso de las baterías, teniendo en cuenta el peso disponible tras instalar los dos motores, los distintos componentes y el peso del piloto, se ha optado por estimar un peso entre 300 y 400 kilogramos para las baterías.

A modo resumen, en la tabla expuesta a continuación quedan recogidos los requisitos de las baterías a integrar en el sistema de tracción del vehículo:

REQUISITOS BATERÍAS	
Capacidad (Ah)	94
Tensión nominal (V)	335
Peso (kg)	300-400

**Tabla 15.** Parámetros baterías

## 8.2 Elección de las baterías.

Tal y como se pudo apreciar en el capítulo 5, *Componentes principales del sistema de tracción del coche eléctrico*, en su apartado referente a las baterías, las baterías pueden estar fabricadas por diferentes tipos de materiales los cuales ofrecen distintas prestaciones unos de otros. Por este motivo se repasaron a fondo

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

las distintas características de cada tipo, llegando a la conclusión que el mejor de tipo de baterías para el presente proyecto eran las de ion litio debido a su alta densidad energética, son de menor tamaño y peso ligero y son las más utilizadas actualmente en el mercado automovilístico actual.

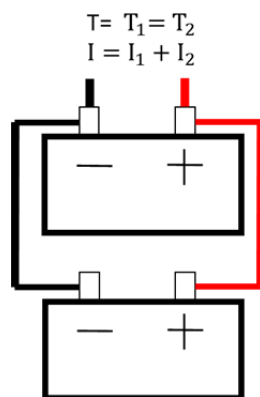
Una vez se ha establecido el tipo de material se procedió a la búsqueda de las baterías en tiendas comerciales.

Es importante señalar, que las baterías para coches eléctricos en numerosas ocasiones no se venden como un único elemento, sino que se encuentran en unidades de tamaño muy reducido que dependiendo de una determinada configuración forman las baterías. Estas unidades pequeñas, conocidas como celdas, tienen como parámetros principales la tensión e intensidad que son capaces de suministrar. Este último parámetro está especificado para un tiempo de una hora.

Los modos de conexión entre las celdas son:

- Conexión en paralelo

Este tipo de conexión permite obtener una tensión total igual al valor de cada una de las baterías por separado, y una capacidad de valor el doble de la capacidad de las baterías individuales. La figura mostrada a continuación representa este tipo de conexión:



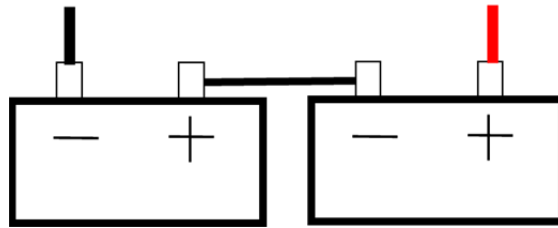
**Figura 27. Conexión en paralelo de baterías**

- Conexión en serie

Este tipo de conexión permite obtener una capacidad igual al valor de cada una de las baterías por separado, y una tensión de valor el doble a la tensión de las baterías individuales. La figura mostrada a continuación representa este tipo de conexión:

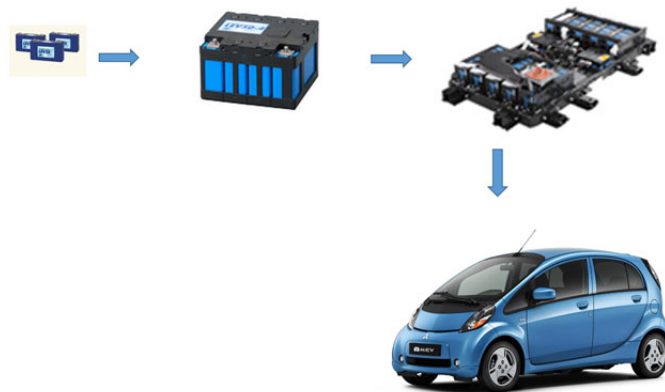
Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

$$T = T_1 + T_2$$
$$I = I_1 = I_2$$



**Figura 28. Conexión en serie de baterías**

A modo de ilustración se expone la siguiente figura en donde se puede apreciar la configuración de baterías del coche Mitsubishi i-MiEV:



**Figura 29. Configuración de las baterías del Mitsubishi i-MiEV**

Como se puede observar, la configuración de baterías comienza con las celdas. Estas se agrupan de tal forma que cumplan con los requisitos de tensión y capacidad exigidas para cada caso formando los módulos. Dichos módulos se agrupan y se disponen en un pack especial para módulos conformando así el pack de baterías último a instalar en el vehículo.

Para el caso del Mitsubishi i-MiEV, el pack está formado por 88 células Ion-litio de 14,8 voltios con una capacidad de 50 amperios hora cada una. Las células a su vez forman 10 módulos que contienen 8 células cada uno. A estos módulos hay que sumar otros dos compuestos de 4 células. Mitsubishi consigue así para el i-MiEV una tensión total de la batería de 330 voltios con la capacidad de 50 amperios hora.

Para el caso del presente proyecto, se seleccionaron los siguientes modelos de celdas:

- Lithium Battery pack (Facilitado por uno de los fabricantes de motores)
- CALB CA100FI 100Ah LiFePo4 Cell
- WB-LYP160AHA

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

- CALB CA180FI - Lithium Cell LiFePO4 (3.2V/180Ah)
- SINOPOLY 40AH LIFEP04
- WINSTON 60AH LIFEP04

Se recuerda que el requisito principal para la elección de las baterías, es el requisito de la capacidad. La tabla expuesta a continuación expone las capacidades de los modelos de celdas mencionados anteriormente:

MODELO	CAPACIDAD (Ah)	REQUISITO CAPACIDAD
Lithium Battery pack	140	CUMPLE
CALB CA100FI 100Ah LiFePo4 Cell	100	CUMPLE
WB-LYP160AHA	160	CUMPLE
CALB CA180FI - Lithium Cell LiFePO4 (3.2V/180Ah)	180	CUMPLE
SINOPOLY 40AH LIFEP04	40	NO CUMPLE
WINSTON 60AH LIFEP04	60	NO CUMPLE

**Tabla 16.** Comprobación del cumplimiento del requisito de capacidad

Como se puede apreciar, los dos últimos modelos de la lista no cumplen con el requisito de capacidad. Por tanto quedan descartados para este proyecto<sup>2</sup>.

Una vez comprobado el requisito de capacidad, se procede a comprobar la tensión nominal de las celdas, estas quedan recogidas en la siguiente tabla:

MODELO	TENSIÓN (V)
Lithium Battery pack	320
CALB CA100FI 100Ah LiFePo4 Cell	3,2
WB-LYP160AHA	3,2
CALB CA180FI - Lithium Cell LiFePO4 (3.2V/180Ah)	3,2

**Tabla 17.** Comprobación del cumplimiento del requisito de tensión

Como se puede observar, excepto la pack de baterías que encabeza la lista anterior, el resto de modelos de celdas proporcionan el mismo valor de tensión nominal. Para conseguir el valor de tensión requerido en los motores y, tal y como se explicó en los modos de conexión de celdas, será necesario conectar una cantidad de 108 celdas en serie en todos los casos.

El pack de baterías de litio no resulta interesante para este proyecto, pues no solo la tensión nominal es menor a la requerida, sino que además las celdas no son configurables. De esta manera, el pack queda descartado.

---

<sup>2</sup> Estas celdas si se configuran de cierta manera podrían llegar a cumplir el criterio de capacidad, no obstante, serían necesarias una mayor cantidad de celdas y esto incrementaría el peso y el precio final.



## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

En cuanto a los tres modelos restantes, la siguiente criba se realizó en base al precio y al peso. Los precios unitarios de cada modelo, así como el precio total correspondiente para cada uno de ellos se recoge en la siguiente tabla:

MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
CALB CA100FI 100Ah LiFePo4 Cell	108	135,00 €	14580,00
WB-LYP160AHA	108	180,00 €	19440,00
CALB CA180FI - Lithium Cell LiFePO4 (3.2V/180Ah)	108	203,19 €	21945,00

**Tabla 18.** Tabla de precios de las baterías comerciales seleccionadas

Como se puede apreciar, el primer modelo de celda es el más barato. Los otros dos rondan los 20.000 €. Si bien este ya es buen criterio para optar por el primer modelo, vamos a comprobar el peso, pues puede que este modelo en su conjunto sea más pesado que los otros dos. En la tabla expuesta a continuación se recoge los pesos de cada modelo de celda y el peso total que supondrían en conjunto.

MODELO	PESO (kg)	PESO TOTAL (kg)
CALB CA100FI 100Ah LiFePo4 Cell	3,4	367,2
WB-LYP160AHA	5,8	626,4
CALB CA180FI - Lithium Cell LiFePO4 (3.2V/180Ah)	5,8	626,4

**Tabla 19.** Tabla de pesos de las baterías comerciales seleccionadas

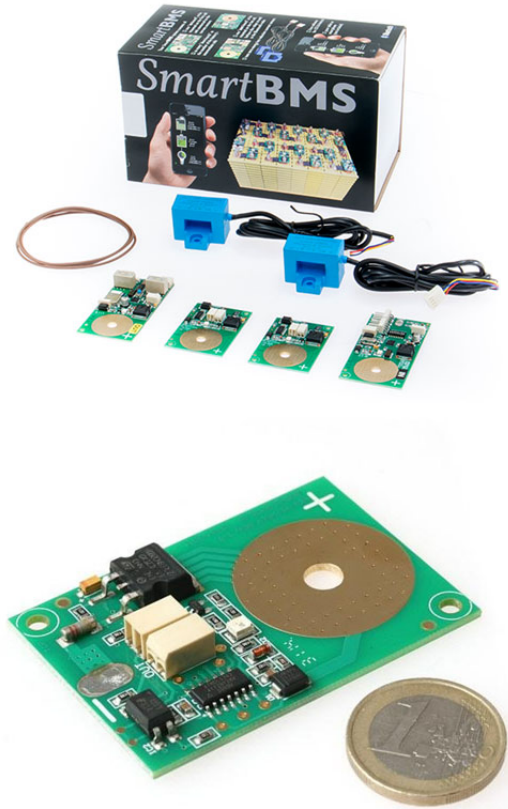
Como se puede comprobar, el primer modelo sigue siendo el más óptimo con un peso total de valor prácticamente la mitad que los otros dos modelos. Por este motivo, el modelo de celdas elegido para el presente proyecto es el modelo **CALB CA100FI 100Ah LiFePo4 Cell**.

### 8.3 Elección del BMS

Es importante recordar que las baterías han de ir acompañadas de un sistema de control, BMS, ya que, como se vio en el capítulo 5, estos sistemas se encargan de controlar distintos parámetros importantes de las baterías como el SOC o la temperatura. En el mercado se pueden encontrar aparatos de BMS que cuentan con distintas especificaciones y de distintos precios.

Afortunadamente, el fabricante de las celdas elegidas, nos proporciona los modelos de BMS acordes a este tipo de celdas y a la configuración establecida. Dado que el número de celdas es elevado, el fabricante recomienda por un lado el modelo **BMS123 Smart pack de 4 celdas** (Figura 30. Abajo) y por otro, el modelo **BMS123 Smart módulo para celda individual**. (Figura 30. Arriba).

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad



**Figura 30. BMS123 Smart Pack 4 (arriba). BMS123 Smart Celda individual (abajo)**

El primero de los modelos incluye dos módulos de entrada y salida correspondientes a la conexión de la primera y a la última celda del pack de baterías respectivamente, y dos módulos para la conexión de celdas intermedias. El segundo modelo es para la conexión de celdas intermedias. De este modo se podrían conectar el número de celdas intermedias que se requiera, solo basta con adquirir solo una unidad del primero modelo, y una cantidad del segundo igual al número de celdas que se requieran conectar.

Las especificaciones se adjuntan en los anexos. (Ver Anexo IV)

## **9. Dimensionado de cables**

En este apartado se va a describir el dimensionado de las líneas de alimentación de la batería principal del vehículo, así como de las principales salidas de ésta ,es decir, los inversores de los motores y la batería secundaria de 12 voltios que alimenta, a su vez, a los elementos secundarios del vehículo. Se va incluir así mismo los elementos que se han pensado indispensables para el vehículo eléctrico como el sistema de iluminación y la unidad de control del vehículo. Los tramos de cable a dimensionar quedan recogidos en la siguiente tabla:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

TRAMO	DENOMINACIÓN
Cargador-Banco de baterías	TR1
Cargador- Banco de baterías	TR2
Banco de baterías -Inversor Motor	TR3
Banco de baterías -(Inversor Batería 12V)	TR4
Batería 12 V- Faro delantero	TR5
Batería 12 V- Faro trasero	TR6
Batería 12 V- Unidad de control del vehículo	TR7

**Tabla 20.** Denominación de cada tramo

Los consumos de cada elemento a alimentar quedan recogidos a continuación:

ELEMENTO	POTENCIA( W)
Unidad de control del vehículo	180
Faro trasero	168
Faro delantero	262
Inversor batería 12 V	1040
Inversor Motor	106260
Banco de baterías	213560

**Tabla 21.** Consumos de los principales elementos

El valor de potencia para la unidad de control es su valor crítico según el fabricante. En el caso de los faros se tiene:

- Para el faro trasero, el valor de potencia es un valor típico de una bombilla halógeno tipo H21W. El faro cuenta con cuatro bombillas correspondientes a las luces de freno, marcha atrás, luz de visibilidad e intermitente. El total de las potencias en el faro trasero es el valor que se recoge en la tabla anterior.
- Para el faro delantero, el valor de la potencia se ha basado en bombillas de tipo H1 y H21, siendo la potencia del primero de 55 W y la del segundo de 21 W. El valor total de la potencia corresponde a una bombilla de tipo H21 y a dos bombillas de tipo H1, correspondientes a la luz antiniebla, la luz de visibilidad, y el intermitente. El total de las potencias en el faro delanteros el valor que se recoge en la tabla anterior.

El valor de potencia en el inversor del motor es el correspondiente al caso crítico tenido en cuenta para los cálculos del propio motor en la presente memoria.

El inversor de la batería de 12 V requerirá un consumo de valor la suma de los consumos de la unidad de control y de los faros delanteros y traseros. Nótese que para obtener ese valor se ha de multiplicar por dos los consumos de ambos faros pues el vehículo cuenta con dos faros de cada tipo.

De la misma forma, el valor de la potencia requerida en el banco de baterías se ha obtenido como la suma de los consumos del inversor de las baterías de 12 voltios y la del inversor del motor. Se debe recordar,

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

que al igual que la cantidad de faros, la cantidad de inversores de motor será igual a dos unidades pues el vehículo cuenta con dos motores.

Se han dimensionado los cables siguiendo los criterios de temperatura y de caída de tensión recogidos en [16].

Para el criterio de temperatura se han establecido las siguientes condiciones:

- En base a [17], se ha considerado una disposición de conductor tipo B.
- El cable elegido será un cable unipolar de cobre tipo H07V-K con cubierta de PVC.

De esta manera, se procedió a calcular las intensidades de cada tramo. La siguiente expresión permite obtener la intensidad a partir de la potencia y la tensión. Nótese que se trata de corrientes continuas monofásicas.

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{EC.16}$$

Para una mejor comprensión y a modo resumen se expone la siguiente tabla donde se recogen los resultados de las intensidades obtenidas, así como su cumplimiento con el criterio de temperatura.

TRAMO	POTENCIA (W)	TENSIÓN (V)	INTENSIDAD (A)	CRITERIO TÉRMICO
TR1	213560	365	585,09	CUMPLE
TR2	213560	365	585,09	CUMPLE
TR3	106260	365	291,12	CUMPLE
TR4	1040	12	86,66	CUMPLE
TR5	262	12	21,83	CUMPLE
TR6	168	12	14,00	CUMPLE
TR7	180	12	15,00	CUMPLE

**Tabla 22.** Cálculo de las intensidades máximas para el criterio de temperatura

Nótese que los valores de intensidad son bastante elevados. Si se comprueba en [18], estos valores no están estipulados, por lo que se opta por añadir otro cable, de esta manera la corriente se reduce por la mitad y, como consecuencia, se puede obtener un valor tabulado de sección de cable.

Para estos valores de intensidades se han obtenido las siguientes secciones para cada tramo:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

TRAMO	SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )
TR1	240
TR2	240
TR3	185
TR4	35
TR5	4
TR6	2,5
TR7	2,5

**Tabla 23.** Secciones obtenidas para cada tramo

Con estos valores de sección se comprueba el criterio de tensión. Para el criterio de tensión se ha considerado una caída máxima del 3% correspondiente a líneas de iluminación y del 5% para el resto de líneas.

La expresión que permite obtener la caída de tensión en líneas monofásicas se define como:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot l \cdot P}{V \cdot S} \quad \text{EC. 17}$$

Siendo  $\rho$  la resistividad del terreno,  $l$  la longitud del tramo,  $P$  la potencia del consumo,  $V$  la tensión de la línea y  $S$  la sección previamente obtenida en el criterio de temperatura. Las longitudes de los tramos se han estimado en 1 metro, excepto las de los tramos hacia los faros, los cuales se han estimado en 1,5 metros.

La tabla expuesta a continuación expone los resultados que se han obtenido de caídas de tensión y su comprobación si cumple o no con la norma:

TRAMO	POTENCIA (W)	TENSIÓN (V)	RESISTIVIDAD (Ω·mm <sup>2</sup> /m)	SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	CAIDA DE TENSIÓN NORMA	CAÍDA DE TENSIÓN	CRITERIO TÉRMICO
TR1	213560	365	1 / 56	240	1	18,25	0,087	CUMPLE
TR2	213560	365	1 / 56	240	0,9	18,25	0,078	CUMPLE
TR3	106260	365	1 / 56	185	1	18,25	0,056	CUMPLE
TR4	1040	12	1 / 56	35	1	0,6	0,088	CUMPLE
TR5	262	12	1 / 56	4	1,5	0,36	0,292	CUMPLE
TR6	168	12	1 / 56	2,5	1,5	0,36	0,300	CUMPLE
TR7	180	12	1 / 56	2,5	1	0,6	0,214	CUMPLE

**Tabla 24.** Cálculo de las caídas de tensión

Como se puede comprobar las secciones anteriormente obtenidas, cumplen con el requisito de caída de tensión. Las líneas o tramos se definirán como se recoge en la siguiente tabla:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

TRAMO	LÍNEA
TR1	2x( Fase x 240mm <sup>2</sup> +Neutro x 240mm <sup>2</sup> + Protección x 120)
TR2	2x( Fase x 240mm <sup>2</sup> +Neutro x 240mm <sup>2</sup> + Protección x 120)
TR3	Fase x 185mm <sup>2</sup> +Neutro x 185mm <sup>2</sup> + Protección x 95 mm <sup>2</sup>
TR4	Fase x 35mm <sup>2</sup> +Neutro x 35mm <sup>2</sup> + Protección x 16mm <sup>2</sup>
TR5	Fase x 4mm <sup>2</sup> +Neutro x 4mm <sup>2</sup> + Protección x 4mm <sup>2</sup>
TR6	Fase x 2,5mm <sup>2</sup> +Neutro x 2,5mm <sup>2</sup> + Protección x 2,5mm <sup>2</sup>
TR7	Fase x 2,5mm <sup>2</sup> +Neutro x 2,5mm <sup>2</sup> + Protección x 2,5mm <sup>2</sup>

**Tabla 25.** Definición de los tramos

## 10. Configuración del sistema de tracción

En este apartado se van a explicar las distintas posibilidades de configuración del sistema de tracción del vehículo eléctrico.

La primera clasificación consiste en la ubicación del sistema de tracción. Ateniéndose a este criterio se pueden encontrar las siguientes configuraciones:

- Tracción delantera. En esta configuración, los motores actúan sobre el eje de las ruedas anteriores. Ha sido la configuración más utilizada por la mayoría de los fabricantes debido a su simplicidad y poco coste.
- Tracción trasera. En esta configuración, los motores actúan sobre el eje de las ruedas posteriores. Se asocia más a los modelos deportivos.

Esta configuración ha presentado ciertas desventajas respecto a la configuración de tracción delantera, debido entre otros factores a:

- Si el motor está situado en la parte delantera del vehículo, obliga a instalar un sistema de árbol de transmisión que atraviese el coche longitudinalmente, lo cual quita espacio en el interior.
- Si el motor se sitúa en la parte trasera, el peso en este lado del vehículo aumenta, dificultando de este modo, el control de la dirección.

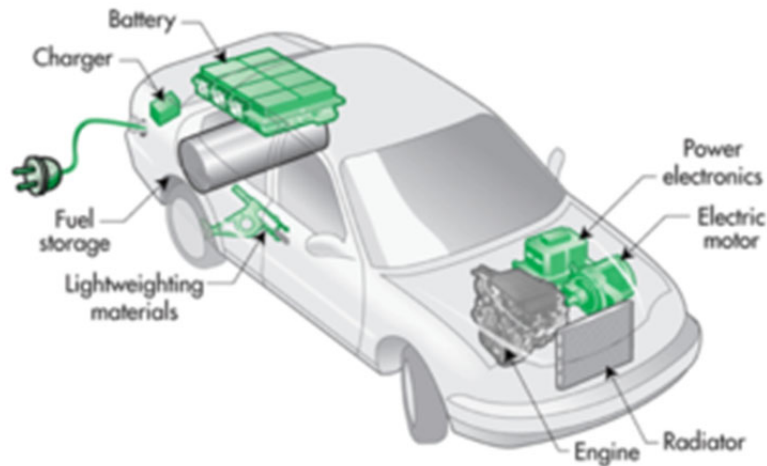
En el caso de los vehículos de tipo eléctrico, estas desventajas pueden ser solventadas ya que los motores eléctricos no ocupan mucho espacio y son más ligeros que los motores de combustión. Por este motivo, se puede instalar más de un motor en los coches eléctricos, tanto en el eje delantero como en el eje trasero.

- Tracción mixta. Los motores actúan en ambos ejes del vehículo.

Una segunda clasificación de los sistemas de tracción consiste en el número de motores que formaran parte de la misma. De esta manera se tiene:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

- Sistema de tracción de un motor. En este sistema, es un único motor el que transmitirá el par motor ya sea de manera directa o a través de una reductora. Fue el primero de los sistemas de tracción que se incluyó en los motores eléctricos.



**Figura 31. Esquema del sistema de tracción con único motor. Fuente: Escuela de Organización Industrial**

- Sistema de tracción con motor múltiple. Esta configuración se basa en la instalación de más de dos motores. Permite un mejor control del par ejercido en las ruedas y un ahorro significativo en piezas mecánicas debido a la posible sustitución del diferencial mecánico por uno electrónico. Hoy en día es de los sistemas de tracción más utilizados. La figura expuesta a continuación representa el esquema de tracción con motor múltiple empleado en el modelo S de la marca Tesla.



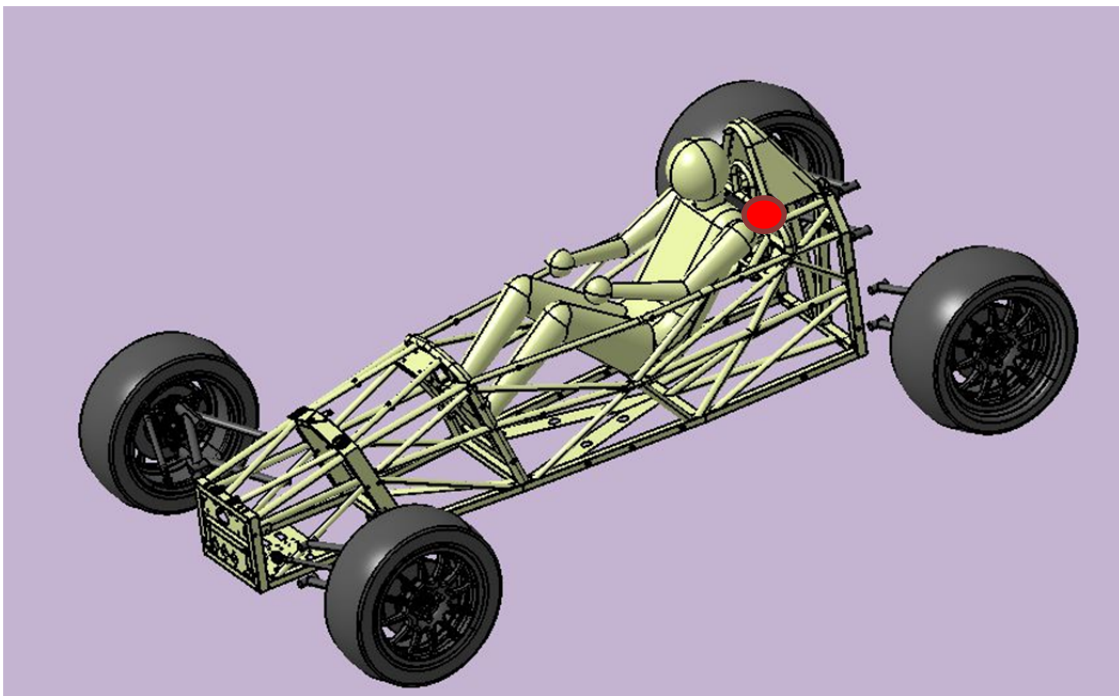
**Figura 32. Esquema del sistema de tracción motor múltiple. Fuente: Tesla motors.**

En el presente proyecto se ha optado por seleccionar una configuración de tracción trasera y con motor múltiple. A continuación se explican los motivos de dicha selección:

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad

- La configuración de tracción trasera es propia de los vehículos deportivos, como el que se hace referencia en el presente proyecto. Esta configuración permite una mayor propulsión que la configuración de tracción delantera.
- Se ha elegido un sistema de tracción con motor múltiple, formado por dos motores debido a las necesidades de potencia que se exige al vehículo, así como un mejor control del mismo ya que cada motor actuará sobre cada rueda del eje. Este aspecto es muy relevante, pues como se ha mencionado con anterioridad, permite la sustitución del diferencial mecánico por uno electrónico. Aun así se deberá incluir un sistema que regule las velocidades de las ruedas en las curvas.

En cuanto a la disposición espacial de los elementos del sistema de tracción se tuvo en cuenta los espacios pre fijados para la colocación de los mismos así como el centro de gravedad. La imagen expuesta a continuación muestra el centro de gravedad marcado para el vehículo, situado detrás del piloto y representado mediante un punto rojo:

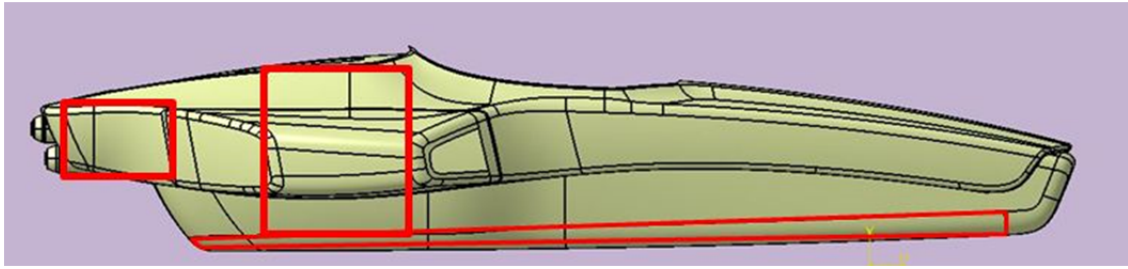


**Figura 33. Centro de gravedad del vehículo.**

La disposición de los elementos del sistema de tracción se realizará de modo que el centro de gravedad se mantenga justo en la posición marcada en la figura anterior. De esta manera, los espacios destinados a la colocación del conjunto de las baterías se pueden apreciar, marcados con un recuadro rojo, en la imagen expuesta a continuación:



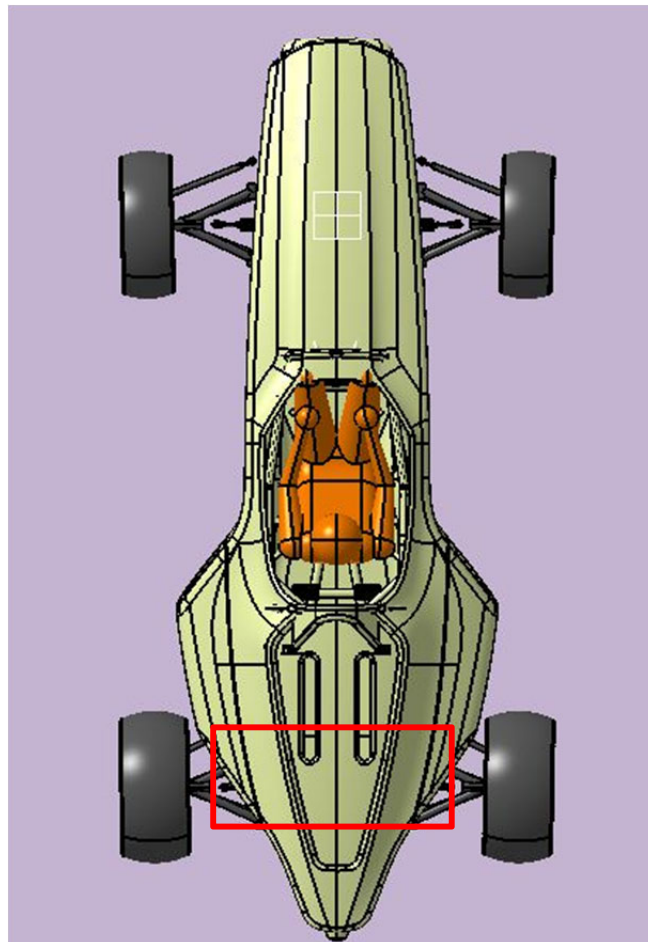
Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad



**Figura 34. Espacios destinados a la colocación de las baterías**

Es importante señalar que la parte inferior del vehículo tiene prioridad para la colocación de las baterías con la finalidad de un mejor conexionado eléctrico y para dejar más espacio a elementos auxiliares.

En cuanto a la colocación de los motores, al no disponer el vehículo de una caja reductora, irán conectados directamente al palier o eje de las ruedas. La imagen expuesta a continuación muestra el espacio destinado para los motores:



**Figura 35. Espacio destinado a la colocación de los motores**

La disposición final de los elementos de tracción del vehículo se muestran en el apartado de planos de la presente memoria.

## 11. Homologación

En este apartado se van a describir, a nivel general, los requisitos a cumplir para la consecución de la homologación del vehículo eléctrico. Es importante señalar que los vehículos eléctricos, además, han de cumplir con los requisitos exigidos a cualquier tipo de vehículo.

La normativa que hace referencia a la homologación de los vehículos eléctricos motorizados está regida en función del tipo de vehículo a homologar. Por este motivo, es importante determinar, primeramente, el tipo de vehículo. La comunidad europea ha incluido en sus directivas [13], 2002/24/CE, 2003/37/CE, 2007/46/CE, la categorización de los vehículos, la cual se resume en la siguiente tabla:

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Categoría M	Vehículos de motor diseñados para el transporte de personas y su equipaje.
Categoría N	Vehículos de motor diseñados para el transporte de mercancías.
Categoría O	Remolques concebidos o fabricados para el transporte de mercancías o de personas, así como para alojar personas.
Categoría L	Vehículos de motor de dos o tres ruedas, gemelas o no, y cuadriciclos, destinados a circular por carretera, así como sus componentes o unidades técnicas,
Categoría T	Tractores agrícolas o forestales.
Categoría R	Remolque agrícola o forestal.
Categoría S	Dispositivo utilizado en agricultura o silvicultura pensado para ser remolcado por un tractor y que modifica la función de éste o añade una nueva.

**Tabla 26.** Categorización de vehículos

De acuerdo a esta categorización, el vehículo al que se hace referencia en esta memoria es de categoría N.

La comisión económica europea en [14] establece una serie de condiciones a seguir para la homologación del vehículo eléctrico de tipo M y N. Esta regulación consta de dos partes, cuyos aspectos más importantes se van señalar a continuación:

- Parte I. En esta parte se hace referencia a la homologación completa del vehículo. En ella se establece:
  - Protección contra coques eléctricos:
    - Protección contra contactos directos.
      - Instalación de aislantes sólidos, barreras, envolvente, etc., los cuales no se podrán abrir, desmontar o retirarse.
      - Los conectores estarán ubicados debajo del piso y provistos de un sistema de bloqueo.
      - En el caso de que los RESSS (Sistema de almacenamiento de energía recargable) sean equipos de alto voltaje, el símbolo mostrado a continuación debe aparecer cerca o en los RESSS.



**Figura 36. Señal de peligro de tensión**

- Protección contra contactos indirectos
  - Las partes conductoras expuestas deben estar conectadas galvánicamente de forma segura al chasis eléctrico mediante conexión con cable eléctrico o cable de tierra, o por soldadura, o por conexión mediante pernos, etc., para que no se produzcan potenciales peligrosos.
  - En el caso que los motores se pretendan alimentar en una fuente externa a través de un conector, se debe incluir un dispositivo que permita la conexión galvánica del chasis eléctrico a la toma de tierra. Este dispositivo debe permitir la conexión a la toma de tierra antes de que la tensión exterior arribe al vehículo y mantener dicha conexión hasta después de que se desconecte la alimentación exterior.
- Resistencia de aislamiento. A incluir entre los buses de alta tensión de corriente continua y alterna.
- Seguridad Funcional.

En este apartado se incluyen todo tipo de señales acústicas y visuales que recibe el conductor en operaciones de encendido y apagado del vehículo, como aviso de que el motor aún está encendido.

- Determinación de las emisiones de hidrógeno.

En este apartado del reglamento, se hace referencia a los ensayos que se han de realizar para determinar las concentraciones en las emisiones de hidrógeno.

- Parte II. En esta parte se incluyen los requisitos a cumplir que afectan directamente al sistema de almacenamiento de energía recargable, sistema de baterías. Se deben realizar los siguientes test o ensayos:
  - De Vibración
  - De choque térmico y ciclado
  - De coche mecánico
  - De integridad mecánica
  - De resistencia al fuego
  - De protección externa de cortocircuito
  - De protección de sobrecarga
  - De protección de sobredescarga

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

- De protección de sobretensión

Debido a que el desarrollo de los coches eléctricos es reciente aunque, como se comprobó en el apartado de historia del vehículo eléctrico de la presente memoria, fueron inventados hace casi dos siglos; la normativa que los regula se encuentra también en desarrollo por lo que a medida que pasa el tiempo van saliendo nuevas normas a cumplir.

Se sabe que los vehículos eléctricos, a diferencia de los vehículos de combustión, son totalmente silenciosos. Este aspecto, a priori, resulta ventajoso pues ayuda a solucionar uno de los graves problemas urbanísticos, como la contaminación acústica. No obstante, al no hacer ruido, los vehículos eléctricos pueden resultar un peligro para los peatones u otros vehículos pues no son advertidos de la proximidad de este tipo de vehículos, lo cual puede conllevar a desafortunados accidentes. Por ello, dentro de la nueva normativa, se encuentra la regulación europea No 540/2014 que hace referencia al sistema de alerta acústico del vehículo o AVAS, el cual debe ser obligatoriamente incluido en los vehículos eléctricos a partir del 1 de julio de 2019.

El sistema AVAS se debe activar automáticamente desde el arranque del motor hasta que el vehículo alcanza una velocidad aproximada de 20 kilómetros por hora y durante la marcha atrás. Los ensayos a realizar para comprobar el funcionamiento del sistema de alerta acústico son:

- Ensayos de nivel de sonido máximo.
- Ensayo de diferencias de frecuencias entre aceleración y deceleración
- Ensayo de activación del AVAS a velocidad constante
- Ensayo de activación del AVAS en modo de marcha atrás

Existe, además, un reglamento que hace referencia a la homologación específica de los motores. En [15] se puede apreciar los ensayos que se exigen, en su totalidad, basados en mediciones de la potencia neta y de la potencia máxima.

## 12. Impacto económico-ambiental

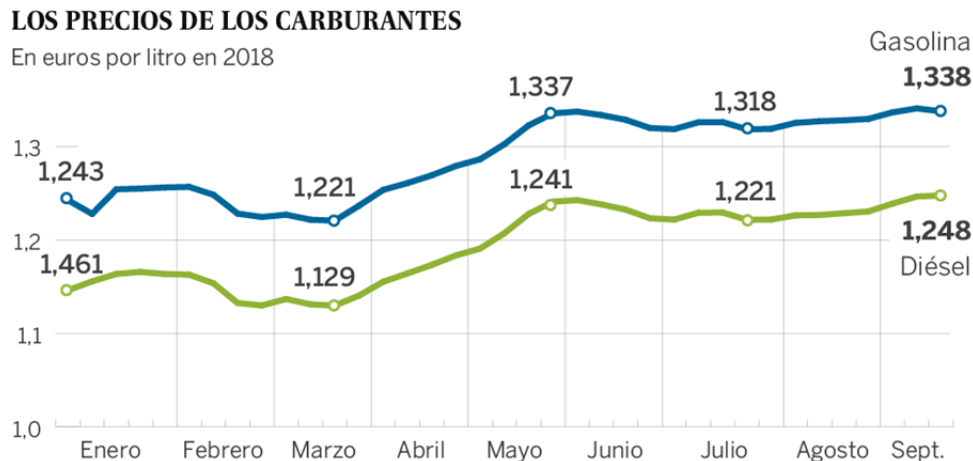
En este apartado se pretende demostrar la viabilidad del uso de un vehículo eléctrico frente a un coche convencional de gasolina desde un punto de vista económico y ambiental.

### 12.1 Impacto Económico

Para demostrar la ventaja que se tiene con el vehículo eléctrico, se realizará un cálculo del coste que supondría recorrer un total de 47 kilómetros de trayecto, distancia igual a la que se tuvo en cuenta para el cálculo de los elementos de tracción.

El precio medio por litro de la gasolina en 2018 se situó en torno a 1.30 €/litro. La gráfica expuesta a continuación expone la fluctuación del precio de la gasolina en dicho periodo:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad



**Figura 37. Fluctuación de los precios de la gasolina en 2018. Fuente El País.**

El consumo de un vehículo de gasolina puramente deportivo se puede establecer en unos 12 litros/100km lo que equivaldría a 0,12 litros/km. Teniendo en cuenta este valor, la distancia y el precio medio de gasolina mencionados anteriormente se tiene:

$$0,12 \frac{\text{litros}}{\text{km}} \cdot 47 \text{ km} \cdot 1,30 \frac{\text{€}}{\text{litros}} = 7,332 \text{ €}$$

Por tanto, el precio que supondría recorrer una distancia de 47 kilómetros con un vehículo de estas características se estima en 7,33 euros

Por otro lado, según [19], el precio de la energía se situó en 0,122€/kWh para la tarifa “Tarifa vehículo eléctrico”. Teniendo en cuenta este valor y el de la energía requerida para recorrer los 47 kilómetros de 31,22 kWh, calculado en apartados anteriores, se tiene:

$$31,22 \text{ kWh} \cdot 0,122 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 3,80 \text{ €}$$

Por tanto, bajo estas condiciones, se puede afirmar que **resultará más económico circular con un vehículo eléctrico que con uno de gasolina.**

## 12.2 Impacto ambiental

En cuanto al impacto ambiental, se pretende demostrar la diferencia entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, a nivel general, para el caso de un vehículo eléctrico y para un vehículo de gasolina.

El vehículo eléctrico no tiene emisiones. No obstante, la generación de la energía de la cual se alimenta si produce emisiones debido a que su origen no es 100% renovable. La figura expuesta a continuación muestra los orígenes de la generación de energía eléctrica en España:

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

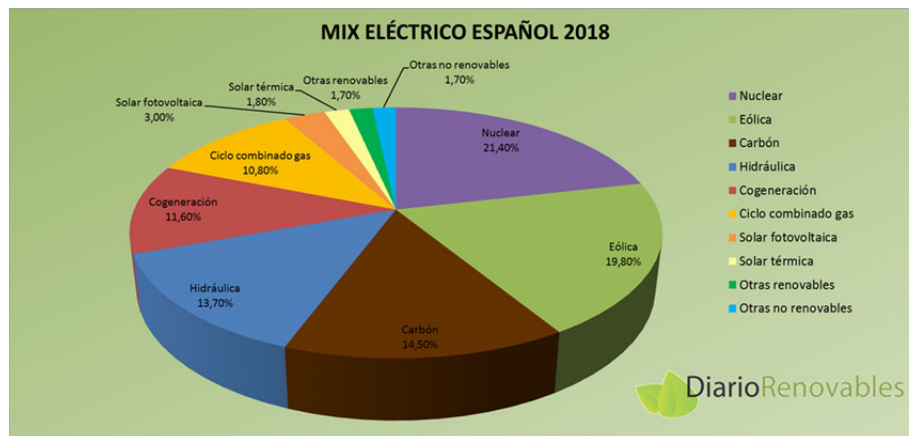


Figura 38. Origen de la generación de energía eléctrica en España. Fuente: Diario Renovables

Según [20], en 2018 el mix eléctrico (factor de emisión de CO<sub>2</sub> atribuible al subministro eléctrico), se establece en 321 g de CO<sub>2</sub>/kWh.

En cuanto a un vehículo de gasolina de elevada cilindrada que circula por vías urbanas (caso más crítico), se establecen las emisiones en 307,46 g CO<sub>2</sub>/km [20].

Si se expresa este último valor en g de CO<sub>2</sub>/kWh se tiene:

$$307,46 \frac{gCO_2}{km} \cdot \frac{1}{0,055 \frac{litros}{km}} \cdot \frac{1}{9,7 \frac{kWh}{litros}} = 576,30 \frac{gCO_2}{kWh}$$

Nótese en que se ha considerado un gasto de 0,055 litros de gasolina para recorrer 1 kilómetro tal y como se expone en [21]. Así mismo se ha considerado una producción de energía de 9,7 kWh por cada litro de gasolina [21].

De esta manera se puede decir que **el coche de gasolina resulta más contaminante que el coche eléctrico**, produciendo aproximadamente un 56% más de CO<sub>2</sub>.

### 13. Conclusiones

Como se mencionó en los apartados iniciales de esta memoria, el proyecto tiene como objetivo principal el dimensionado de un sistema de tracción para un vehículo eléctrico y al mismo tiempo establecer unos requisitos de homologación para que pueda circular por la ciudad.

Respecto a este último aspecto, y haciendo referencia a las normativas de circulación establecidas, se decidió partir de unos valores de velocidad de circulación determinados. Este punto de inicio tiene especial importancia puesto que el vehículo, en un primer momento, había sido diseñado para circular a velocidades propias de los coches de competición. La forma de la carrocería demuestra este último hecho.

De esta manera, se dimensionó unos motores que, por un lado, pudiesen cumplir con las características de diseño del vehículo (forma, peso, neumáticos...), y por otro cumpliesen con los requisitos de velocidad.

## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

En cuanto a las baterías, el dimensionado de éstas solo se podía hacer después de haber realizado el dimensionado de los motores ya que era necesario saber la cantidad de energía requerida que había que suministrar.

Una vez dimensionado los elementos principales del sistema de tracción, se procedió a la búsqueda de los mismos en el mercado, demostrando que hoy en día, existen numerosos fabricantes de motores eléctricos y de baterías que ofrecen productos para distintos tipos de necesidades.

Por lo que se refiere a la homologación del vehículo, es importante señalar la evolución en cuanto a normativa específica que afecta a los vehículos de tipo eléctrico, siendo esta lenta. Gran parte de la normativa existente es normativa que afecta a los vehículos en general, aunque se puede afirmar que a medida que los vehículos eléctricos se asienten con mayor notoriedad dentro del parque automotor, tendrán una mayor regulación.

Para finalizar, se quiere hacer hincapié en las ventajas que tiene el vehículo de tipo eléctrico frente a los vehículos convencionales. Como se pudo comprobar en el apartado de impacto económico, el vehículo eléctrico tiene un consumo menor que un vehículo de combustión interna y en cuanto al impacto ambiental, se pudo demostrar además que es menos contaminante. Es importante añadir que esta última comparación se hizo teniendo en cuenta un suministro de energía basado de una red eléctrica estándar. Si se dispone, por ejemplo, de puntos de recarga con una fuente de energía 100% limpia como la energía fotovoltaica, las emisiones son prácticamente nulas y por ende se conseguiría una mejor conservación del medioambiente, aspecto muy importante en el presente trabajo.

## 14. Bibliografía

- [1] D.Villareal. *Esto es lo que dice Europa acerca de la prohibición de los coches diésel y gasolina a partir de 2040*. (2018) [Online]. Available: <https://www.diariomotor.com/noticia/europa-prohibicion-coches-diesel-gasolina-2040/>
- [2] Electromovilidad. *Historia del coche eléctrico*. [Online]. Available: <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>
- [3] Jal. *Lo Jeantaud automobile*. (2016) [Online]. Available: <https://mofler.com/foro/t/28653-jeantaud>

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

[4] Wikipedia. *La Jamais Contente*. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/La\\_Jamais\\_Contente](https://en.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente)

[5] J.Mora, “Máquinas de Inducción” in *Máquinas Eléctricas*. Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos (servicio de publicaciones). Madrid, España 1995, pp. 317-326.

[6] D. Segovia. *Motor de corriente continua*. [Online]. Available: <http://fisicacondsegovia.blogspot.com/2017/11/motor-de-corriente-continua.html>

[7] Aficionados a la mecánica. *El coche eléctrico*. [Online]. Available: [http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_control.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm)

[8] *Partes de un coche eléctrico*. [Online]. Available: <https://elcocheelectrico.com/partes-coche-electrico/>

[9] Novelec. *¿Cómo funciona el cargador de un coche eléctrico?* (2019) [Online]. Available: <https://blog.gruponovelec.com/energias-renovables/como-functiona-el-cargador-del-coche-electrico/>

[10] Motor pasión. *Tipos de conectores, tipos de recarga y modos de carga*. [Online]. Available: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/tipos-de-conectores-tipos-de-recarga-y-modos-de-carga>

[11] Iqbal Husain. “Energy source: Battery” in *Electric and Hybrid Vehicles*. CRC PRESS. Boca Raton, Florida, U.S.A 2003, pp. 67-68.

[12] Motor Giga. *Resistencia a la Rodadura- Definición- Significado*. [Online]. Available: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/resistencia-a-la-rodadura-definicion-significado/gmx-niv15-con195385.htm>

[13] Tutorial nº61. *Clasificación de las categorías y tipos de vehículos*. [Online]. Available: <https://ingemecanica.com/tutoriales/CategoriasdeVehiculos.html>

[14] Reglamento nº100 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU). *Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en relación con los requisitos específicos del grupo motopropulsor eléctrico*. Boletín oficial del Estado. 2015. [Online]. Available: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R100r2e.pdf>

[15] Reglamento nº85 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas. *Disposiciones uniformes sobre la homologación de motores de combustión interna o grupos motopropulsores eléctricos destinados a la propulsión de vehículos de motor de las categorías M y N por lo que respecta a la medición de la potencia neta y de la potencia máxima durante treinta minutos de los grupos motopropulsores eléctricos*. Boletín Oficial del Estado. 2014. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2014-83338>



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

[16] Reglamento Electrotécnico para baja tensión e ITC. *ITC-BT-19 Instalaciones Interiores o Receptoras. Prescripciones Generales*. Boletín oficial del Estado. 2019. [Online] Available: [http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt\\_guia.aspx](http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx)

[17] PRYSMIAN. “*Modos de Instalación*” in Catálogo de cables y accesorios para Baja Tensión, pp. 17-22.

[18] PRYSMIAN. “*Intensidades admisibles en amperios al aire (40° C)*.” in Catálogo de cables y accesorios para Baja Tensión., pp. 23.

[19] *Precio de la luz por horas*. [Online]. Available: [https://tarifaluzhora.es/?tarifa=coche\\_electrico&fecha=2019-09-12](https://tarifaluzhora.es/?tarifa=coche_electrico&fecha=2019-09-12)

[20] Oficina Catalana del cambio climático. *Guía práctica de para el cálculo de emisiones de gases con efecto invernadero GEH*. [Online] Available: [https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/04\\_ACTUA/Com\\_calcular\\_emissions\\_GEH/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/190301\\_Guia-practica-calcul-emissions\\_CA.pdf](https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/04_ACTUA/Com_calcular_emissions_GEH/guia_de_calcul_demissions_de_co2/190301_Guia-practica-calcul-emissions_CA.pdf)

[21] Javier Costas. *¿Cuánto cuesta cargar un coche eléctrico?* [Online]. Available: <https://www.motor.es/noticias/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-201734364.html>



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

PRESUPUESTOS



## Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

En este apartado se va a incluir los costes del proyecto referidos al dimensionado del sistema de tracción del vehículo. El presupuesto estará formado, primeramente, por el coste de los componentes principales estudiados en este proyecto y por otro lado, los gastos en ingeniería.

De esta manera se tiene:

Componentes	Unidades	Coste unitario	Coste Componente
Motor	2	6.490,00 €	12.980,00 €
Inversor	2	900,00 €	1.800,00 €
Baterías- Celda	108	135,00 €	14.580,00 €
Baterías BMS módulo unitario	104	17,92 €	1.863,68 €
Baterías BMS con bluetooth 4.0 set completo	1	324,50 €	324,50 €
<b>Total Componentes</b>			31.548,18 €
Gastos Ingeniería	Unidades	Coste unitario	Coste
Salario Becario	150	9,00 €	1.350,00 €
Material de oficina	1	10,00 €	10,00 €
Software Ofimática	1	149,00 €	149,00 €
<b>Total Ingeniería</b>			1.509,00 €
<b>Total Costes</b>			33.057,18 €
Margen	1	10,00%	3.305,72 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>			36.362,90 €

Los precios de los componentes son los precios estipulados por cada fabricante. En el caso de los gastos en Ingeniería, se han contabilizado 150 horas realizadas por el estudiante en prácticas, pagadas a un precio razonable de 9 euros la hora.

En cuanto al precio de material de oficina se ha considerado ese valor debido a que apenas se ha utilizado este tipo de material y que en tan pocas horas realizadas, el gasto del mismo es ínfimo.

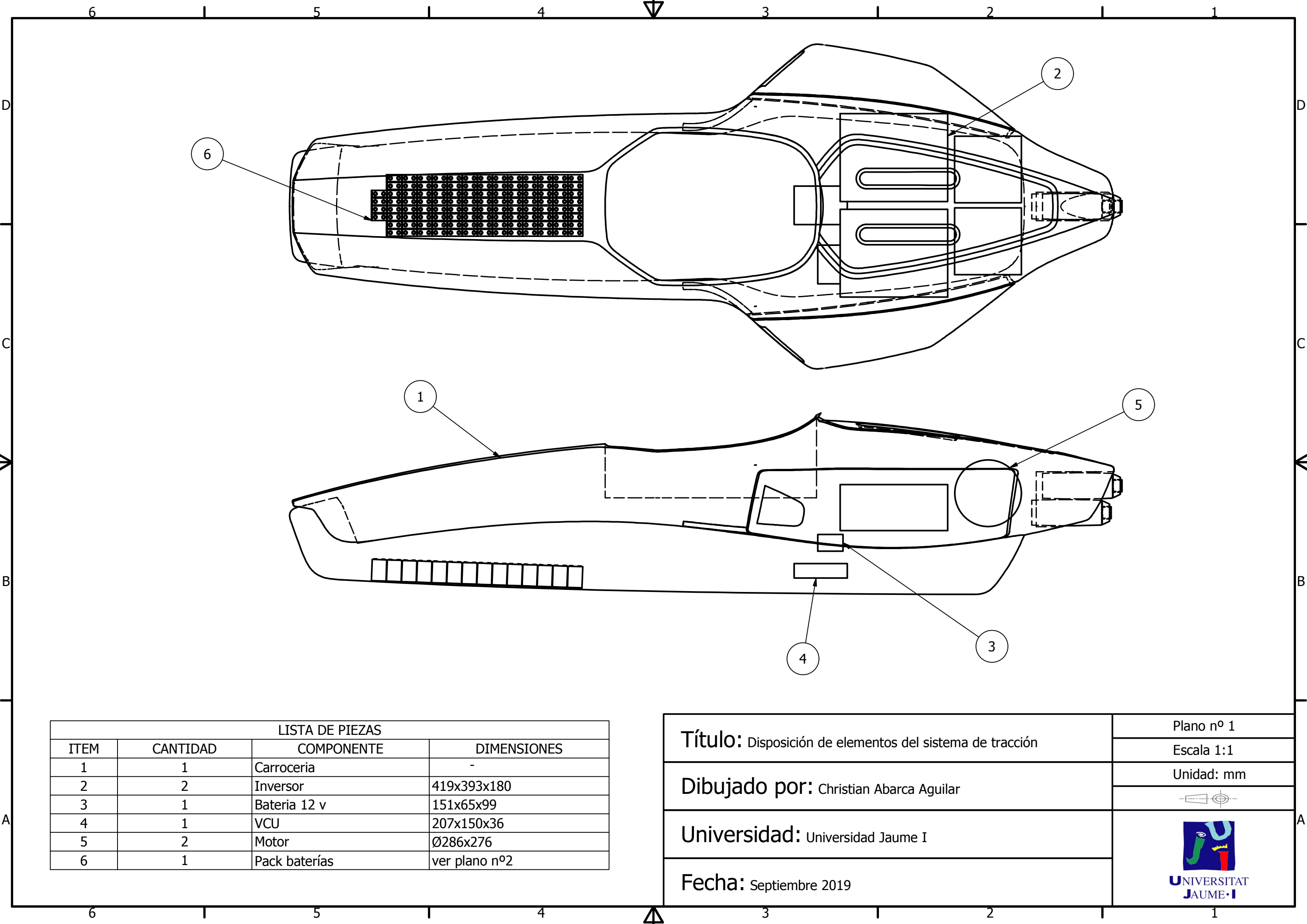
Por lo que se refiere al software de informática, se propuso actualizar el paquete office que se tenía hasta el momento, por la última versión.

Por último, se ha considerado un margen del 10% del coste total inicial que corresponde a horas extras realizadas y alguna variación importante del coste de alguno de los elementos.




Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

PLANOS

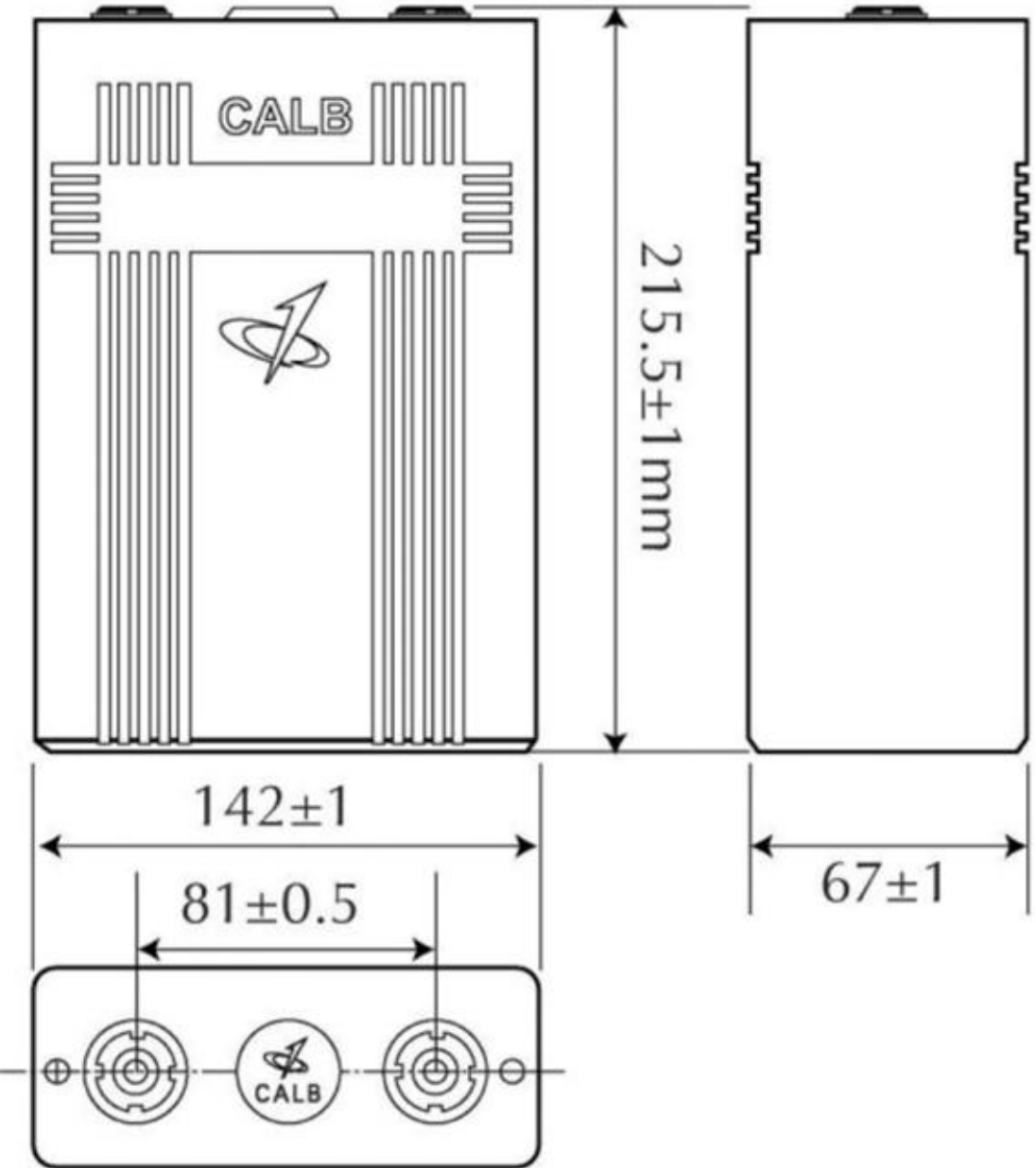
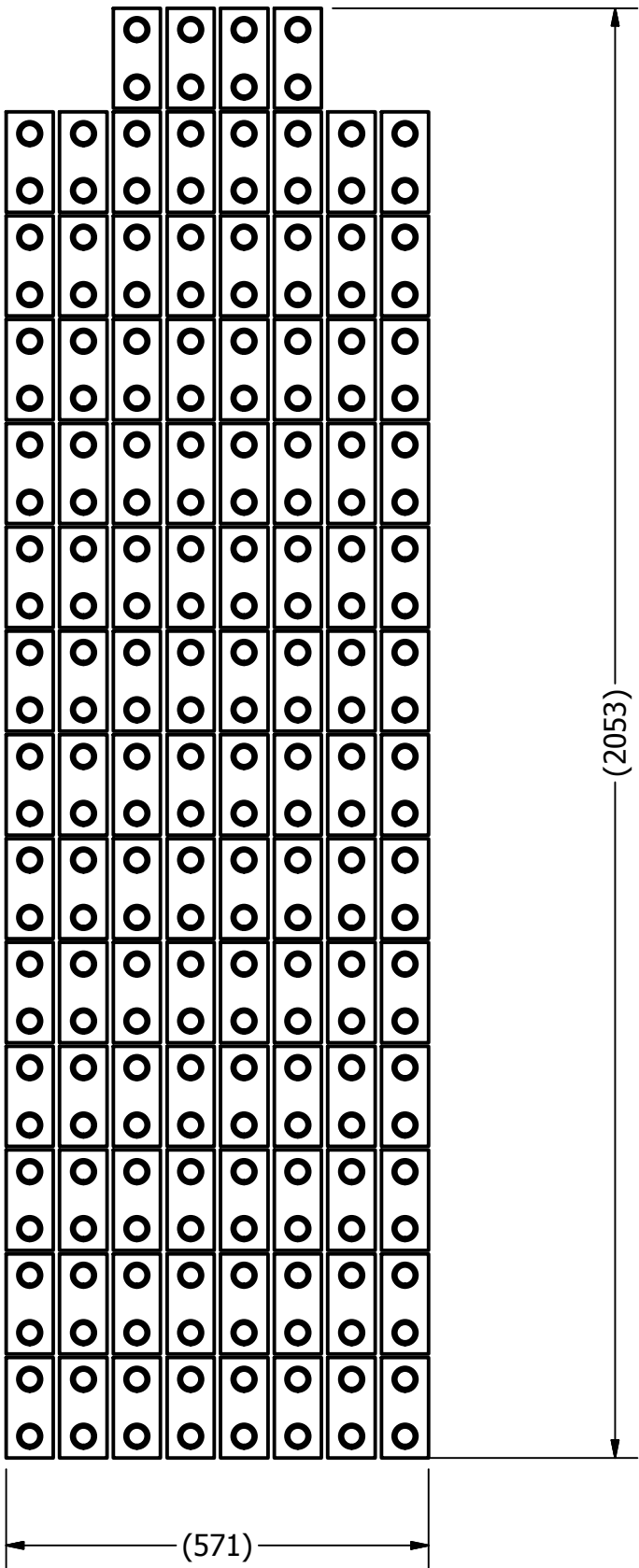




LISTA DE PIEZAS			
ITEM	CANTIDAD	COMPONENTE	DIMENSIONES
1	1	Carroceria	-
2	2	Inversor	419x393x180
3	1	Bateria 12 v	151x65x99
4	1	VCU	207x150x36
5	2	Motor	Ø286x276
6	1	Pack baterías	ver plano nº2

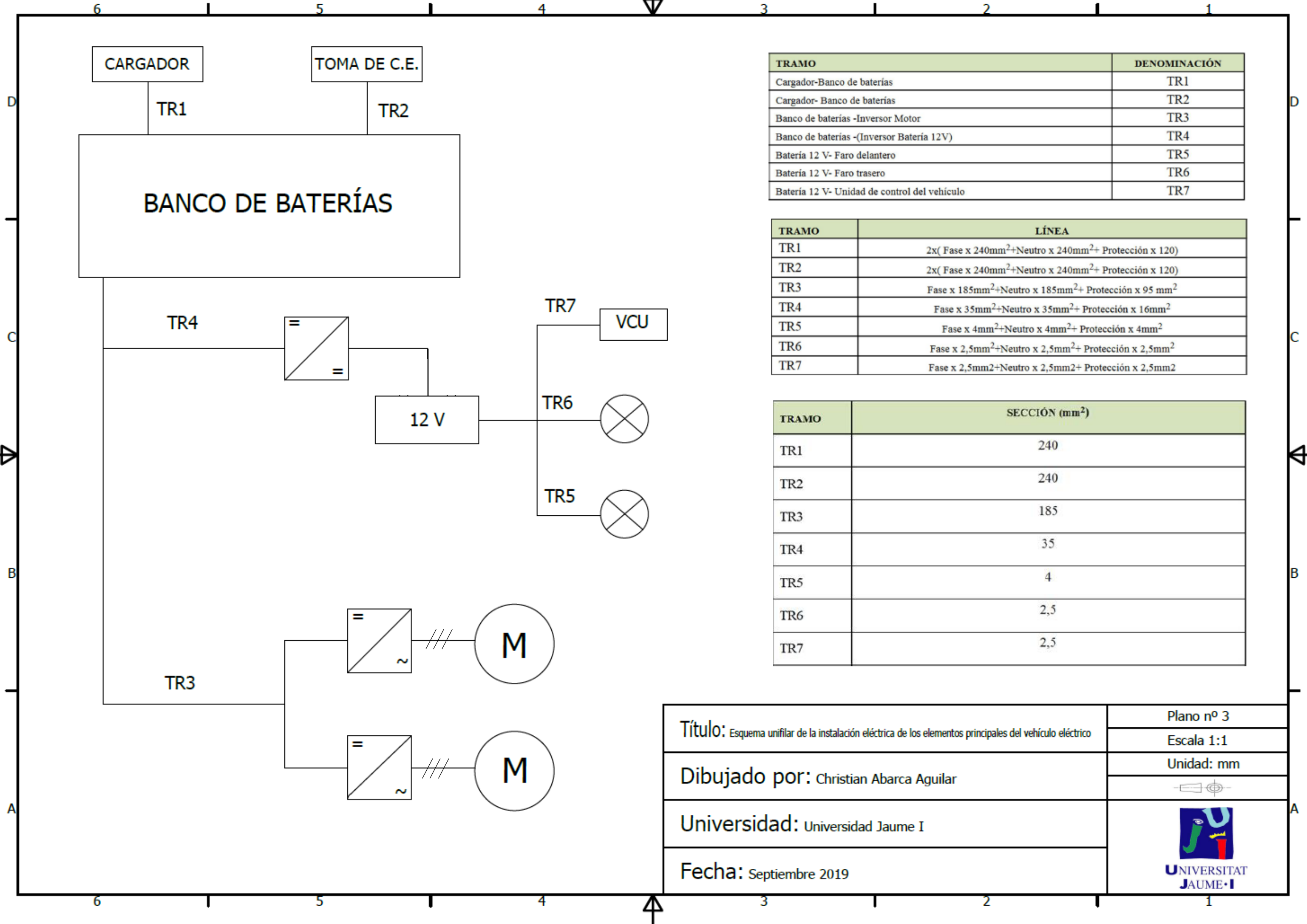
<b>Título:</b> Disposición de elementos del sistema de tracción	Plano nº 1
	Escala 1:1
	Unidad: mm
<b>Dibujado por:</b> Christian Abarca Aguilar	 UNIVERSITAT JAUME I
<b>Universidad:</b> Universidad Jaume I	
<b>Fecha:</b> Septiembre 2019	



Disposición de las baterías = 13 x 8 + 4  
Separación entre baterías = 5mm




Título: Celda de litio CALB CA 100FI (3.2V/100Ah)/ Banco de baterías	Plano nº 2
	Escala 1:1
Dibujado por: Christian Abarca Aguilar	Unidad: mm
	
Universidad: Universidad Jaume I	 UNIVERSITAT JAUME·I
Fecha: Septiembre 2019	



TRAMO	DENOMINACIÓN
Cargador-Banco de baterías	TR1
Cargador- Banco de baterías	TR2
Banco de baterías -Inversor Motor	TR3
Banco de baterías -(Inversor Batería 12V)	TR4
Batería 12 V- Faro delantero	TR5
Batería 12 V- Faro trasero	TR6
Batería 12 V- Unidad de control del vehículo	TR7

TRAMO	LÍNEA
TR1	2x( Fase x 240mm <sup>2</sup> +Neutro x 240mm <sup>2</sup> + Protección x 120)
TR2	2x( Fase x 240mm <sup>2</sup> +Neutro x 240mm <sup>2</sup> + Protección x 120)
TR3	Fase x 185mm <sup>2</sup> +Neutro x 185mm <sup>2</sup> + Protección x 95 mm <sup>2</sup>
TR4	Fase x 35mm <sup>2</sup> +Neutro x 35mm <sup>2</sup> + Protección x 16mm <sup>2</sup>
TR5	Fase x 4mm <sup>2</sup> +Neutro x 4mm <sup>2</sup> + Protección x 4mm <sup>2</sup>
TR6	Fase x 2,5mm <sup>2</sup> +Neutro x 2,5mm <sup>2</sup> + Protección x 2,5mm <sup>2</sup>
TR7	Fase x 2,5mm <sup>2</sup> +Neutro x 2,5mm <sup>2</sup> + Protección x 2,5mm <sup>2</sup>

TRAMO	SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )
TR1	240
TR2	240
TR3	185
TR4	35
TR5	4
TR6	2,5
TR7	2,5

Título: Esquema unifilar de la instalación eléctrica de los elementos principales del vehículo eléctrico	Plano nº 3
	Escala 1:1
Dibujado por: Christian Abarca Aguilar	Unidad: mm
Universidad: Universidad Jaume I	 UNIVERSITAT JAUME·I
Fecha: Septiembre 2019	



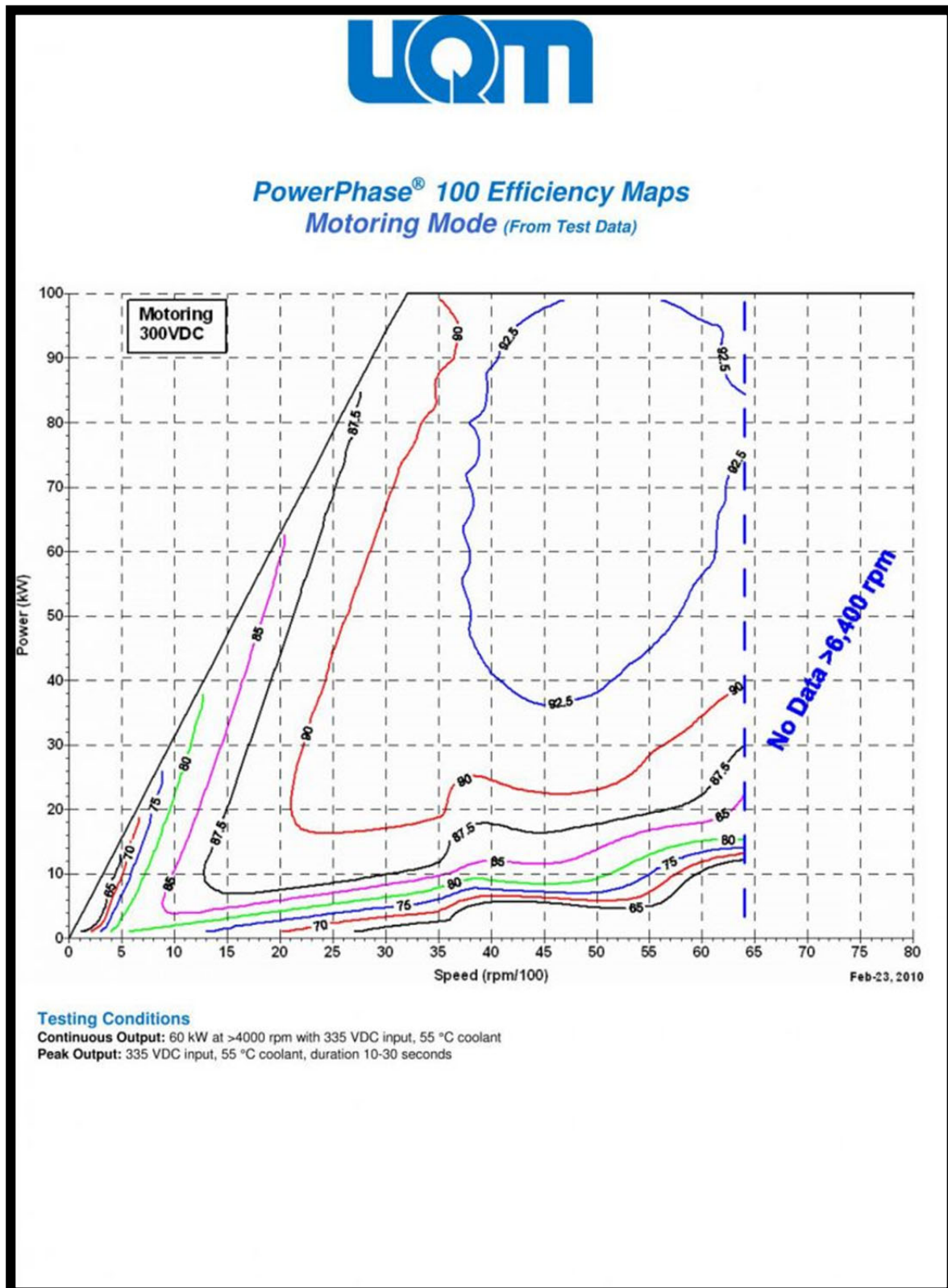
Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

ANEXOS



## ANEXO I

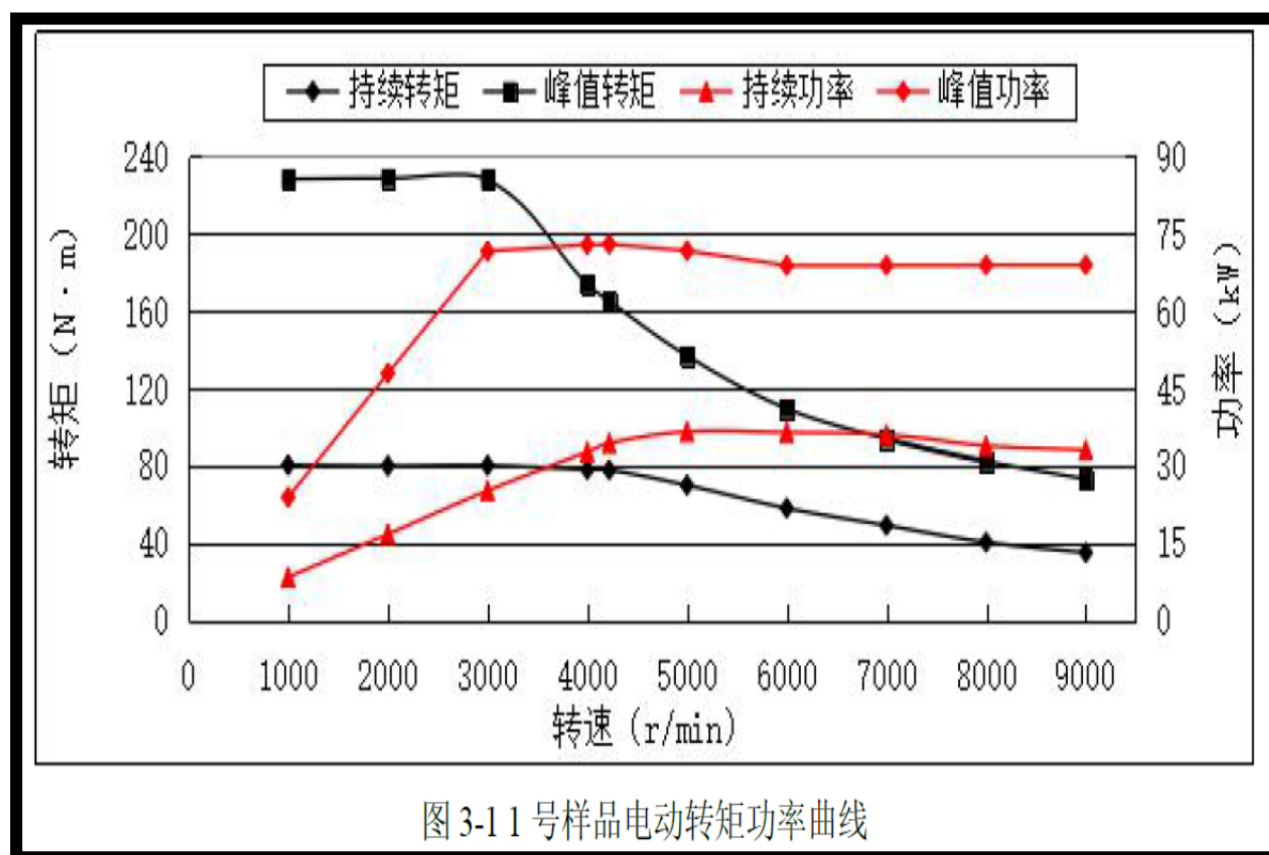
### Gráfica Potencia-Velocidad del motor seleccionado



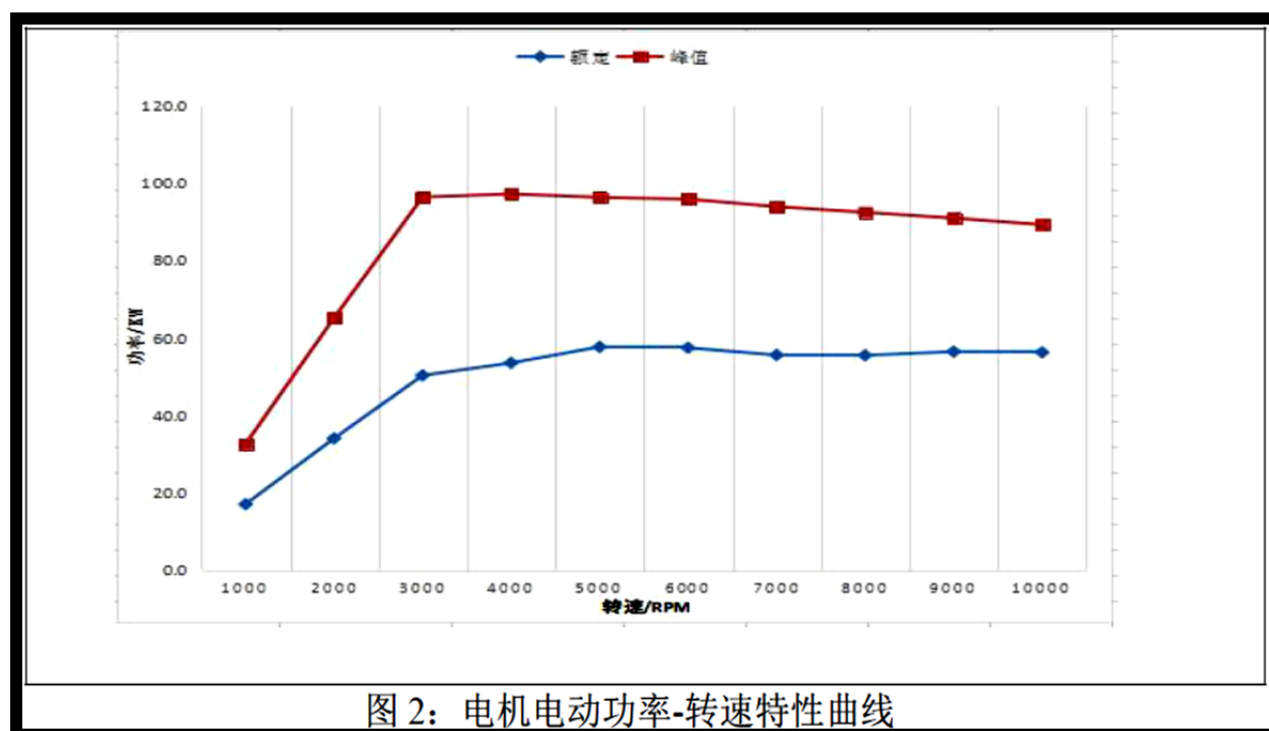
Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

### Gráficas Potencia-Velocidad de los motores no seleccionados

Motor Unidrivng system 36/70 kW

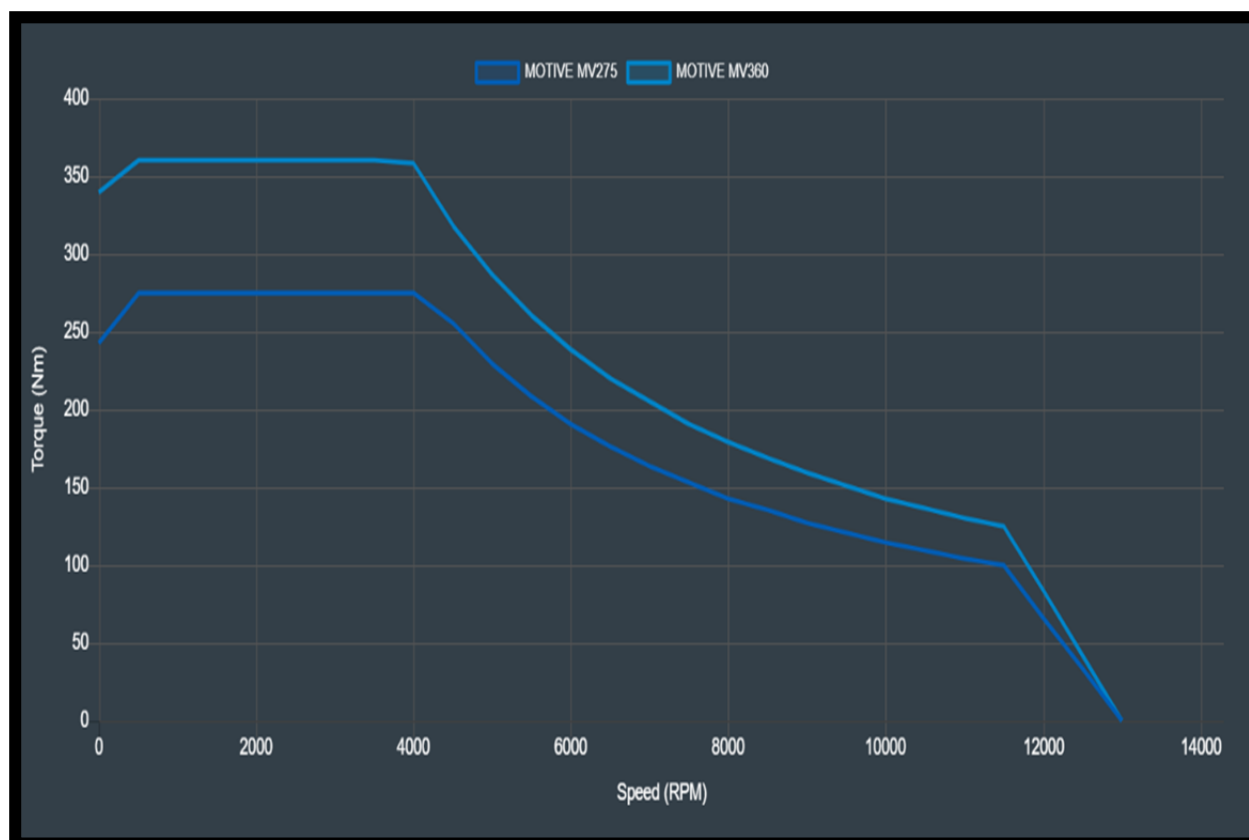


Motor Unidrivng system 55/100 kW



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

Motor TM4 MOTIVE MV360 y TM4 MOTVE MV 275





Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

## ANEXO II

### ESPECIFICACIONES RENAULT TWIZY (PÁGS 23-24 CATÁLOGO COMERCIAL)

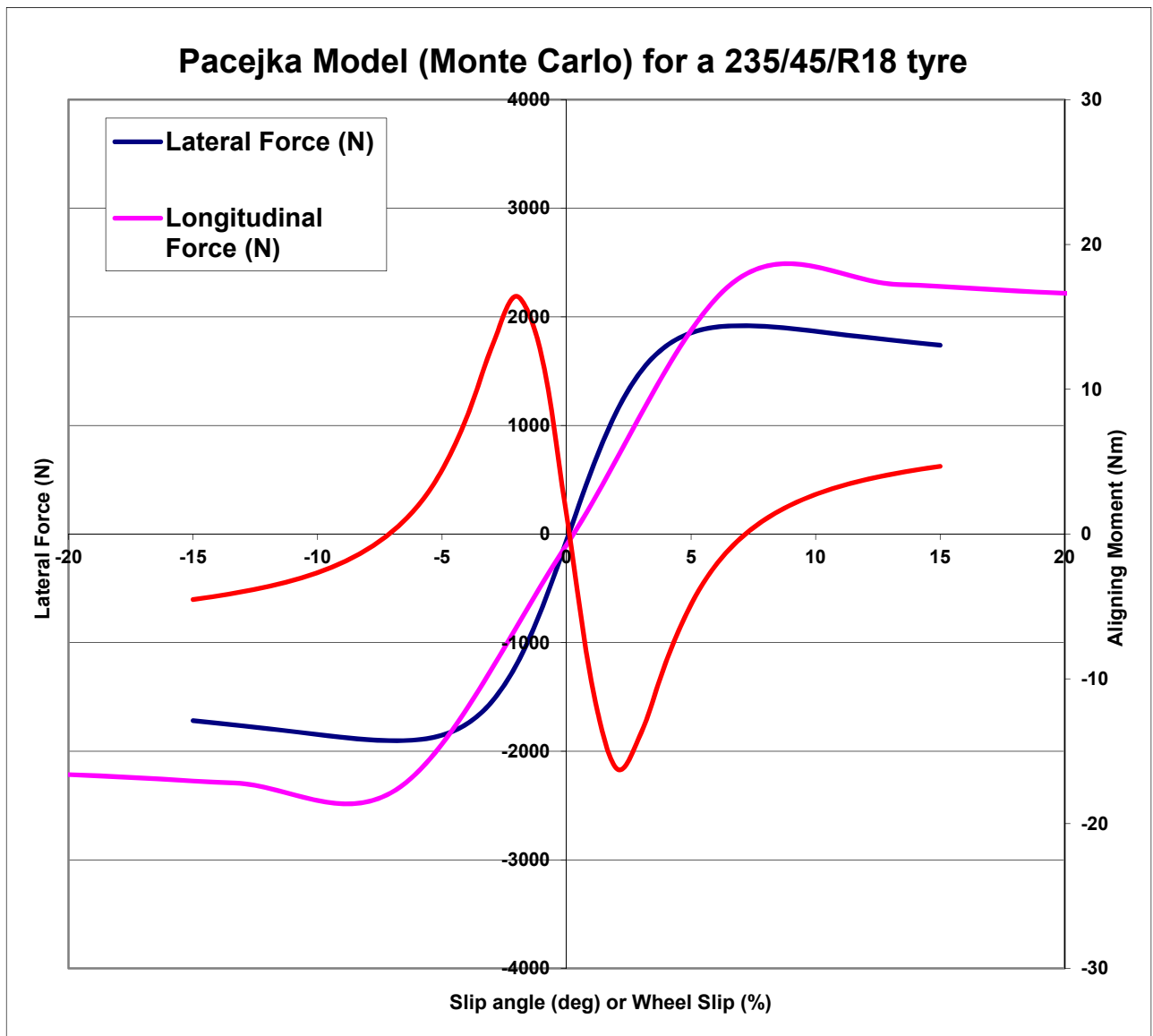
<b>DIRECCIÓN</b>		
Asistida		cremallera directa
Ø de giro entre aceras (m)		6,8
Número de giros del volante		2,8
<b>TRENES</b>		
Tipo tren delantero		Pseudo-Mc Pherson - Combinado muelle / amortiguador / eje flexible
Tipo tren trasero		Pseudo-Mc Pherson - Combinado muelle / amortiguador / eje flexible
Ø barra estabilizadora delantera / trasera (mm)		Delantera y trasera: diámetro 23 mm
<b>RUEDAS Y NEUMÁTICOS</b>		
Uñas de referencia		33 cm (13")
Dimensiones neumáticos delanteros		Continental EcoContact 125/80 R13
Dimensiones neumáticos traseros		Continental EcoContact 145/80 R13
<b>FRENOS</b>		
Tipo de circuito		Circuito simple
Discos delanteros plenos (Ø en mm)		214
Discos traseros plenos (Ø en mm)		204
<b>AERODINÁMICA Y CAPACIDAD</b>		
SCx / Cx		0,64
Capacidad de energía (kWh)		6,1
<b>MASAS (kg)</b>		
En vacío en orden de marcha (sin batería)	446 (375)	474 (375)
En vacío en orden de marcha delante	197	206
En vacío en orden de marcha atrás	249	268
Total (MTR)	685	690
Carga útil (CU)	110	115
Masa máx. remolcable frenada		0
Masa máx. remolcable no frenada		0

### ESPECIFICACIONES COCHE SEGUNDA GENERACION FORMULA E 18/19

Technical Specifications - FIA Formula E Gen2	
Overall length	5160mm
Overall width	1770mm
Overall height	1050mm
Front track	1553mm
Rear track	1505mm
Ride height	75mm (max)
Wheelbase	3100mm
Minimum weight (inc. driver)	900kg (battery 385kg)
Maximum power	250kW, equivalent to 335bhp
Race Mode (maximum power available)	200Kw, equivalent to 270bhp
Maximum power regeneration	250kW
Maximum speed	280km/h (174mph)
Acceleration	0-100km/h (0-62mph)

### ANEXO III

Pacejka model for a 235/45/R18 tyre



Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

## ANEXO IV

Especificaciones batería seleccionada

CALB CA100AHA cell		
Specifications		
Model name	CA100AHA	Alternative product marking CA100FI
Nominal voltage	3.2 V	Operating voltage under load is 3.0 V
Capacity	100 AH	+/- 5%
Internal impenetrableness	<0,9 mOhm	1kHz AC
Operating voltage	min 2.6V - max 3,6 V	At 80% DOD
Discharging cut-off voltage	2.5 V	The cells is damaged if voltage drops below this level
Charging cut-off voltage	3.65 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Recommended charging - discharging Current	30 A	0.3 C
Maximum short-time discharging current	300 A	3C period=10s
Life cycles	2000	0.3C, 80% DDC
Operating thermal ambient - charging	0°C ~ 45°C	The battery temperature should not increase this level
Operating thermal ambient - discharging	-20°C ~ 55°C	The battery temperature should not increase this level
Storage thermal Ambient	-20°C ~ 45°C	The battery temperature should not increase this level
Shell Material	Plactic	Flame retardants
Dimensions	216 x 142 x 67 mm	Millimeters (tolerance +/- 1 mm)
Weight	3,4 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)

Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplace para que pueda circular por ciudad

Especificaciones Battery management System (BMS)

## SPECIFICATIONS

All specifications measured at 3.3V cell voltage and slow message cycle (1x per second).

Description	Value / range
<b>General specifications</b>	
Operating voltage range	2.0V to 5.0V
Operating temperature range	-40 to 85°C
Voltage measurement accuracy	± 15mV
Temperature measurement accuracy	± 5°C
Balancing current	1A
Number of Cells	2 to 255
<b>Board type dependent specifications</b>	
"Single" module current average	<1.3mA
IN module current average with 1 current sensor	<2.0mA
IN module current average with 2 current sensors	<2.9mA
OUT module current average with standby Bluetooth	<2.0mA
OUT module current average when device connected to Bluetooth	<9.0mA
Maximum current through charge / load relay on OUT board	1A